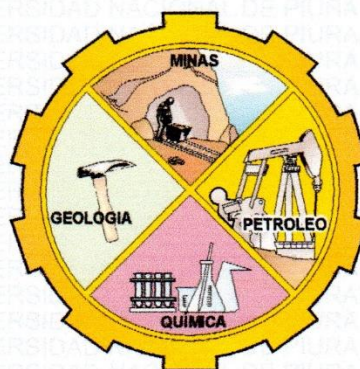


UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

Facultad de Ingeniería de Minas

Escuela Profesional de Ingeniería de Petróleo



TESIS

“CEMENTACIÓN PRIMARIA CON LECHADAS DE CEMENTOS DE BAJA DENSIDAD EN FORMACIONES DE BAJA PRESIÓN PERÚ; 2019”

Presentada Por:

Br. HUGO MARTÍN VITE RODRÍGUEZ

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO DE PETRÓLEO**

Línea de Investigación:

Biodiversidad, Medio Ambiente y Recursos Naturales

PIURA - PERÚ

AÑO 2019

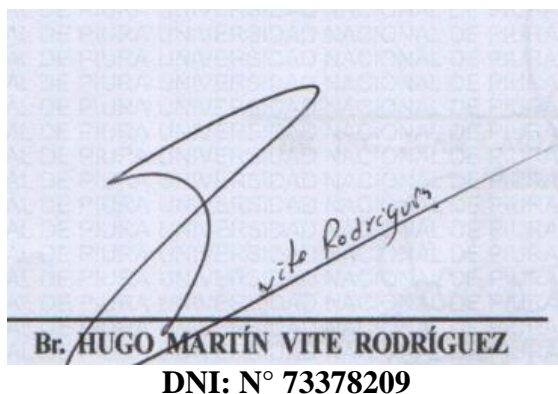
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS

Yo Hugo Martin Vite Rodríguez identificado con DNI N° 73378209, Bachiller profesional de Ingeniería de petróleo, de la facultad de minas y domiciliado en calle las palmeras Mz E5 lote 3 la Primavera del distrito de Castilla, provincia de Piura, departamento de Piura, celular 951490293, Email humar_21@hotmail.com.

DECLARO BAJO JURAMENTO: que la tesis que presento es original e inédita, no siendo copia parcial ni total de una tesis desarrollada, y/o realizada en el Perú o en el extranjero, en caso contrario de resultar falsa la información que proporciono, me sujeto a los alcances de lo establecido en el artículo N° 411, del código penal concordante con el Art. 32 de la ley número 27444, y Ley del Procedimiento Administrativo General y las Normas Legales de Protección a los Derechos de Autor.

En fe de lo cual firmo la presente.

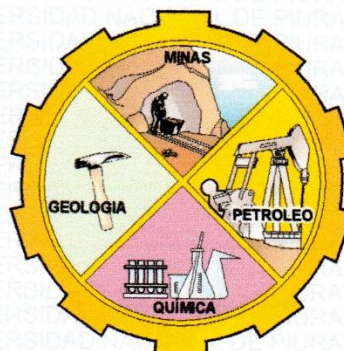
Piura, 17 de marzo del 2019



Br. HUGO MARTÍN VITE RODRÍGUEZ
DNI: N° 73378209

Artículo 411.- el que, es un procedimiento administrativo, hace una falsa declaración en relación con hechos o circunstancias que le corresponde probar, violando la presunción de veracidad establecida por ley, será reprimida con pena privativa de ley, no menor de uno, ni mayor a 4 años.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
Facultad de Ingeniería de Minas
Escuela Profesional de Ingeniería de Petróleo



TESIS

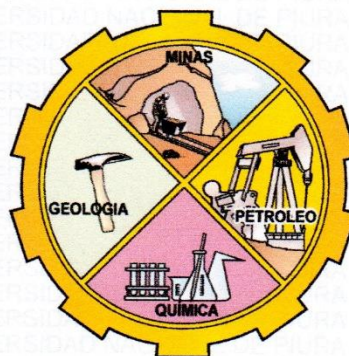
“CEMENTACIÓN PRIMARIA CON LECHADAS DE CEMENTOS DE BAJA DENSIDAD EN FORMACIONES DE BAJA PRESIÓN PERÚ; 2019”

**PRESENTADA A LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE PETRÓLEO**


Br. HUGO MARTÍN VITE RODRÍGUEZ
EJECUTOR


ING. PEDRO B. TIMANÁ JARAMILLO
ASESOR

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
Facultad de Ingeniería de Minas
Escuela Profesional de Ingeniería de Petróleo



TESIS

“CEMENTACIÓN PRIMARIA CON LECHADAS DE CEMENTOS DE BAJA DENSIDAD EN FORMACIONES DE BAJA PRESIÓN PERÚ; 2019”

**PRESENTADA A LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE PETRÓLEO**

DR. ING. WILMER ARÉVALO NIMA
PRESIDENTE

DR. ING. JUAN CARLOS TANTARUNA OCSAS
SECRETARIO

ING. JOSÉ COBENA URBINA
VOCAL



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS
DECANATO

"AÑO DE LA LUCHA CONTRA LA CORRUPCIÓN Y LA IMPUNIDAD"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado Calificador nombrados mediante Resolución N° 307-CF-2018, de fecha cinco de abril de dos mil dieciocho, que suscriben, reunidos el día jueves trece de junio de dos mil diecinueve, a horas 1:00 p.m., en el aula del PROMAINA - FIM, para la sustentación de la Tesis titulada "**CEMENTACIÓN PRIMARIA CON LECHADAS DE CEMENTOS DE BAJA DENSIDAD EN FORMACIONES DE BAJA PRESIÓN PERÚ; 2019**", conducida por el señor Bachiller en Ingeniería de Petróleo **VITE RODRÍGUEZ HUGO MARTÍN**, la misma que cuenta con el asesoramiento del Ing° **Pedro B. Timaná Jaramillo**. Efectuadas las observaciones y dadas las respuestas, lo declaran:

DESAPROBADO	A P R O B A D O			
	Bueno	Muy Bueno	Sobresaliente	Excelente
	-----	-----	-----	-----

En consecuencia, queda en condición de ser calificado **APTO** y solicitar al Consejo Universitario de la Universidad Nacional de Piura, le otorgue el **TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE PETRÓLEO**, de conformidad con lo estipulado en las normas legales vigentes de la Universidad Nacional de Piura.

Piura, 13 de junio de 2019.

DR. ING° WILMER ARÉVALO NIMA
Presidente del jurado calificador

DR. ING° JUAN C. TANTARUNA OCSAS
Secretario del jurado calificador

ING° JOSÉ COBENA URBINA
Vocal del Jurado Calificador.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mis padres, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo agradezco a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas.

A mis padres Manuel e Ida por ser mis pilares fundamental y haberme apoyado incondicionalmente, pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron.

Finalmente quiero dedicar esta tesis al personal del laboratorio de la empresa CPVEN por su ayuda con los análisis de laboratorio

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I: ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA	2
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	2
1.2. Justificación e importancia de la investigación.....	3
1.3. Objetivos	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos	4
1.4. Delimitación de la investigación	4
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes de la investigación.....	5
2.2. Justificación e importancia de la investigación.....	6
2.3. Glosario de términos básicos	17
2.4. Hipótesis	18
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO	19
3.1. Enfoque y diseño.....	19
3.2. Sujeto de la investigación.....	19
3.3. Métodos y procedimientos	19
3.4. Técnicas e instrumentos	20
3.5. Aspectos éticos	21
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
4.1. Resultados	22
4.1.1 Curva UCA de resistencia a la compresión.....	23
4.1.2 Curva de tiempo de bombeabilidad	24
4.1.3 Filtrado: 230 cc/30 minutos	25
4.2. Ensayo de Laboratorio con la Lechada propuesta utilizando el aditivo ISIL MR para una densidad de 12.6 lb/Gal.	25
4.2.1 Curva UCA de resistencia a la compresión.....	27
4.2.2 Curva de Tiempo de Bombeabilidad.....	27
4.2.3 Filtrado	28
4.3 Discusión.....	28
4.4 Discusión Económica	29
4.4.1 Costos de la cementación convencional.....	30
4.4.2 Costos utilizando el aditivo ISIL MR	31
4.4.3 Resumen de costos de la cementación	31
CONCLUSIONES.....	32
RECOMENDACIONES	33
BIBLIOGRAFÍA.....	34
ANEXOS.....	35
ANEXO 1: HOJA DE SEGURIDAD ISIL – MR	36
ANEXO 2: MATRIZ BÁSICA DE CONSISTENCIA	38

ANEXO 3: MATRIZ GENERAL DE CONSISTENCIA	39
ANEXO 4: MATRIZ GENERAL DE CONSISTENCIA	41

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO

Bach. HUGO MARTÍN VITE RODRÍGUEZ

“CEMENTACIÓN PRIMARIA CON LECHADAS DE CEMENTOS DE BAJA DENSIDAD EN FORMACIONES DE BAJA PRESIÓN PERÚ; 2019”

RESUMEN

En la construcción de un pozo petrolero la cementación es una de las partes más importantes, debido a que un error en este proceso traería consigo drásticas consecuencias como pérdida de circulación y contaminación en el ambiente.

La cementación es el proceso de mezclar cemento con agua y ciertos aditivos, lo cual permite formar una lechada de cemento, la cual es bombeada al pozo a través de la sarta de revestimiento y colocado en el espacio anular que existe entre la sarta de revestimiento y las paredes del hoyo.

El proceso de cementación se viene realizando con 2 lechadas, una lechada de cola y una lechada de relleno, lo cual produce problemas a lo largo de la vida productiva del pozo.

Los problemas se suscitan cuando se tienen formaciones de baja presión, debido a que una lechada de cemento de alta densidad producirá la fracturación de la formación y por tanto la pérdida de circulación de los fluidos.

El presente trabajo busca diseñar una sola lechada capaz de reemplazar a las 2 lechadas usadas, y se use una lechada de baja densidad, pero que sea capaz de satisfacer las necesidades de ingeniería y de este modo lograr el sello hidráulico.

Para lograr un óptimo diseño se utilizarán máquinas de laboratorio para evaluar la calidad de la mezcla de cemento.

Para alcanzar una buena calidad de cemento se utilizarán aditivos capaces de mejorar las propiedades del cemento.

PALABRAS CLAVES: Cementación, Techada de Cemento, Circulación de Fluidos, Fracturación, Sello Hidráulico.

NATIONAL UNIVERSITY OF PIURA

**FACULTY OF MINING ENGINEERING
PROFESSIONAL SCHOOL OF OIL ENGINEERING**

Bach HUGO MARTÍN VITE RODRÍGUEZ

**“PRIMARY CEMENTATION WITH LOWS OF LOW DENSITY CEMENTS IN LOW
PRESSURE FORMATIONS PERU; 2019 ”**

ABSTRACT

In the construction in a oil hole the cementing is the most important because an error in this process there will be consequences like losing circulation and environment's contamination. The cementing is the process of mix cement with water and certain additives it allows to make the mix of cement.

which allows to form a cement slurry, which is pumped into the well, through the coating string and placed in the annular space that exist between the coating string and the walls of the hole

The cementing process has been carried out with 2 slurries, a slurry glue and a filler slurry, which causes problems throughout the productive life of the well.

The problems arise when there are low pressure formations, because a high density cement slurry will cause the fracturing of the formation and therefore the loss of circulation of the fluids.

The present work seeks to design a single slurry capable of replacing the 2 slurries used, and use a low density slurry, but that is able to meet the engineering needs and thus achieve the hydraulic seal. To achieve an optimal design, laboratory machines will be used to evaluate the quality of the cement mixture.

To achieve a good quality cement, additives capable of improving the properties of the cement will be used.

KEY WORDS: Cementation, Cement Roof, Fluid Circulation, Fracturing, Hydraulic Seal.

INTRODUCCIÓN

Para hacer este trabajo de Cementación Primaria en las Operaciones Noroeste, este se inicia aproximadamente por los años de 1940, anterior a esta fecha los pozos no eran cementados lo que trajo como consecuencia problemas de control de gas y agua; cuando se inician las operaciones de cementación primaria las cuales tenían alta presión de reservorio, por lo tanto, se usaban lechadas de cemento de alta densidad mayores de 15.6 ppg, sin tener en cuenta el efecto de la presión hidrostática originada por el cemento con relación a la presión del reservorio.

Estos trabajos requieren del esfuerzo de un grupo de profesionales altamente calificados para la planeación, programación, perforación y cementación del pozo y de la supervisión diaria de las operaciones; además de la productividad continua en las aplicaciones de Ingeniería, Experiencias y Técnicas para el logro de los objetivos.

Con el presente trabajo se busca diseñar el uso de una sola lechada que sea capaz de reemplazar a las dos lechadas usadas y se use una lechada de baja densidad, que logre satisfacer las necesidades de ingeniería y de este modo lograr el sello hidráulico.

Para alcanzar una buena calidad del cemento se utilizarán aditivos especiales capaces de mejorar las propiedades del cemento.

El presente trabajo de Tesis consta de cuatro capítulos:

El Primer capítulo trata de los aspectos de la problemática, se establece el propósito de la investigación, el mismo que busca alternativas de solución.

El Segundo capítulo trata del Marco Teórico y de los aspectos que se realizan en la zona de estudio y abarca la Base Teórica.

El Tercer Capítulo comprende el Marco Metodológico que abarca un enfoque mixto y diseño experimental de los pozos del Lote X que permiten validar la hipótesis de la tesis a fin de obtener resultados mediante los informes de cementación.

El Cuarto Capítulo trata de los Resultados y Discusiones de las pruebas de laboratorio con la lechada utilizando el aditivo 1SIL MR para una densidad de 12.6 lb/gal.

Y por último las Conclusiones, Recomendaciones y Anexos con los que se concluye el presente trabajo de investigación.

CAPITULO I

ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

En las operaciones del noroeste la cementación primaria se inició aproximadamente por los años 1940, anteriormente a esta fecha los pozos no eran cementados, trayendo consigo problemas de control de gas y de agua, al inicio de las operaciones de cementación primaria las formaciones productivas tenían alta presión de reservorio, por lo tanto, se usaban lechadas de cemento de alta densidades mayores de 15.6 ppg, sin tenerse en cuenta el efecto de la presión hidrostática originada por el cemento con relación a la presión del reservorio.

A medida que se ha seguido perforando , la presión de los reservorios ha disminuido (declinación de la presión del reservorio), por tanto se tuvo que diseñar nuevas mezclas de cemento para poder controlar la presión del reservorio y permitir cementar los pozos correctamente , sin crear micro fracturas o perdidas de circulación; actualmente se usan por lo general 2 tipos de lechadas de cemento, una lechada principal que es de mayor densidad 13.6 ppg y es colocada frente a la formación productiva y el segundo tipo es una lechada de relleno que tiene menos densidad (12.6 ppg) y que es colocada encima de la lechada principal.

La densidad del cemento está relacionada con las propiedades de resistencia a la compresión que permiten efectuar los sellos hidráulicos para controlar la migración de gas y de agua logrando así una buena adherencia entre el cemento y la formación productiva y el cemento y el casing de producción.

La cementación primaria es la primera fase, que permite obtener la mayor producción posible de la formación productiva a través del pozo, esta cementación primaria permite tener una buena adherencia entre el cemento y la formación productiva y del cemento con el casing de producción, creando sellos hidráulicos que evitan la migración del gas y del agua.

La cementación de pozos es el proceso por el cual se inyecta en un pozo una lechada de cemento con el fin de controlar los derrumbes de la formación y migración de fluidos. Los principales tipos de cementación son para efectuar la cementación de los liners y las tuberías de revestimiento, la colocación de tapones balanceados para abandonar formaciones productivas.

En casos de no lograrse una buena cementación primaria se tienen que recurrir a la reparación de la cementación mediante las técnicas den block squeeze o circulation squeeze generando mayores costos de cementación y con el riesgo de no lograr la reparación completa.

El proceso de cementación incluye la preparación de la lechada, que se compone de cemento en polvo, agua, y aditivos químicos para controlar las propiedades del cemento tales como densidad, resistencia a la compresión en psi, tiempo de fraguado en horas. Para conseguir una densidad determinada de la lechada se utilizan equipos especiales.

La densidad se mide como la cantidad de masa por unidad de volumen (por ejemplo, lbm/galUS, kg/m³, etc.). Luego de mezclada, la lechada se bombea al pozo mediante bombas de alta presión.

Las formaciones que se van a cementar en el noroeste, requieren esfuerzos de resistencia a la compresión entre 1200 a 1700 psi y tiempos de fragüe de entre 3 a 4 horas, estos valores dependen de la profundidad.

Cabe mencionar que mientras las formaciones se encuentren a mayores profundidades y tengamos formaciones a menores presiones, se necesitaran cementos de bajas densidades, pero con aditivos que permitan alcanzar los esfuerzos y tiempos de fragüe mencionados anteriormente

Para diseñar adecuadamente los cementos es importante conocer ciertos puntos como la presión y temperatura del reservorio; tipos de cemento; control de filtrado, tiempo de espesamiento, resistencia a la compresión, agua libre, etc.

El no tener los sellos hidráulicos, se debe a que no se tiene una densidad homogénea de la lechada de cemento, debido a que, durante el proceso de cementación, se produce una contaminación de la lechada principal con la de relleno y el fluido de perforación.

El no tener una lechada de propiedades homogéneas frente a la formación productiva, hacen que el cemento no tenga un fraguado adecuado, lo cual da lugar al colapso y corrosión del casing por las bacterias del fluido de perforación.

1.2. Justificación e importancia de la investigación

En la actualidad se usan dos tipos de lechadas en cementación, El primer tipo es una lechada “neta” o “de cola” con densidades superiores a los 15.0 lb/gal dependiendo del tipo de cemento y de la BHST (temperatura estática de fondo de pozo), que se usa para anclar el casing y continuar lo antes posible la perforación.

Se emplean aditivos según los requerimientos, para mejorar la reología y otras propiedades del cemento.

La otra es una lechada de relleno que tiene menos densidad y propiedades más pobres, la que, una vez fraguada, desarrollará baja resistencia y alta porosidad.

El uso de dos lechadas de cemento produce un fraguado no homogéneo del cemento, lo cual produce corrosión y un no adecuado sello hidráulico.

Para solucionar los problemas mencionados anteriormente deben utilizarse lechadas homogéneas de baja densidad (menores o iguales a 12.6 ppg), esto lo lograremos con aditivos compatibles con la lechada de cemento que permitan lograr esfuerzos de resistencia a la compresión entre 1200 y 1700 psi y tiempos de fragüe entre 3 y 4 horas.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Formular una lechada de baja densidad con aditivos compatibles que permitan lograr las propiedades de resistencia a la compresión, flexión, tensión y fragüe requeridos.

1.3.2.Objetivo específico

- Obtener un óptimo fraguado del cemento para lograr sellos hidráulicos entre la formación y el casing de producción.
- Identificar las cantidades apropiadas de aditivos para crear una lechada óptima para una formación de baja presión

1.4. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación tomara como referencia los pozos del lote X, durante un tiempo de 6 meses y contando con un presupuesto de \$7800.00.

Los análisis a las lechadas de cemento se llevarán a cabo en el laboratorio de la empresa CPVEN Perú

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Schlumberger Oilfield Review otoño 2001 volumen 13 numero 2

El cemento del pozo que proporciona un completo aislamiento de las formaciones, protege el medio ambiente, aumenta la seguridad de las operaciones de perforación y ayuda a optimizar la producción. Sin un cemento de alta calidad que llene el espacio anular entre la tubería de revestimiento y la formación, los acuíferos de agua dulce que se encuentran por debajo o encima del yacimiento podrían verse contaminados por fluidos provenientes de otras formaciones. La tubería de revestimiento no protegida por cemento puede verse expuesta a la corrosión que causan los fluidos de la formación. Los fluidos de perforación cuyas densidades superan el gradiente de fractura de la formación pueden inducir al fracturamiento de la misma. Durante las operaciones de perforación y cementación se pueden producir pérdidas de circulación, y por lo tanto se puede perder el control del pozo, lo que significa que los fluidos no retornan a la superficie, particularmente si las formaciones débiles no están protegidas de la densidad del lodo o de lechadas que superen el gradiente de fractura de la formación. En esos casos, los fluidos de perforación se pierden en las fracturas y no vuelven al sistema de circulación de fluidos. La producción podría verse afectada si los hidrocarburos fluyen hacia cualquier parte que no sea el pozo mismo.

Las lechadas CemCRETE, introducidas en 1995, mantienen estándares de alto rendimiento en condiciones extremas en el campo petrolífero, con un diseño de la distribución del tamaño de las partículas especialmente concebido para asegurar gran resistencia a la compresión y un completo aislamiento de las formaciones para un amplio rango de densidades. Recientemente, la versión ligera de la tecnología CemCRETE, conocida como tecnología LiteCRETE, ha sido mejorada y actualizada para proporcionar propiedades físicas comparables a la de una lechada cuya densidad es similar a la del agua.

La tecnología mejorada LiteCRETE funciona eficazmente en situaciones operacionales difíciles. Quizás el mayor desafío en los ambientes de cementación ligera es controlar las pérdidas de circulación. Incluso los lodos de perforación más livianos y las lechadas de cemento más ligeras se pueden perder en formaciones débiles o fracturadas. La cementación de zonas de pérdidas de circulación usualmente implica gastos extra para herramientas de trabajo en etapas, operaciones de remediación y otros métodos que aseguren el aislamiento de las formaciones débiles y de los acuíferos.

La tecnología de cementación ligera de alta eficiencia mejora el aislamiento de las formaciones. Los cementos ultraligeros protegen las fuentes de agua dulce y protegen la tubería de revestimiento de la corrosión, ya que permiten columnas más altas en el espacio anular que las lechadas convencionales, incluso en áreas con tendencia a pérdidas de circulación extremas. Las formaciones débiles se pueden cementar completamente utilizando lechadas LiteCRETE que no exceden los bajos gradientes de fractura de la formación. Los tapones de LiteCRETE son lo suficientemente fuertes como para emplearse como tapones de desviación o cucharas desviadoras, y las tuberías de revestimiento cementadas con los sistemas LiteCRETE se pueden perforar fácilmente sin provocar fracturamiento.

Fuente: Programa de Entrenamiento Acelerado Para Supervisores - Schlumberger

2.2. BASES TEÓRICAS

La disminución del precio del crudo ha ocasionado que los trabajos de perforación y cementación en el mundo disminuyan.

Perú no fue la excepción, sin embargo, durante el 2016 Perupetro reportó la perforación de 42 pozos de desarrollo en el noroeste peruano, cuya profundidad promedio fue de 3600 ft.

Como se puede observar la profundidad promedio de los pozos perforados ha sido somera, razón por la cual este trabajo de tesis de investigación se ha centrado en la completación de este tipo de pozos.

La parte más importante en la completación del pozo después del diseño del casing o saeta de revestimiento es la cementación, la misma que debe lograr un sello hidráulico para evitar que el agua y el gas no se canalicen y la formación productiva aporte fluidos de la misma formación.

La cementación es el proceso que consiste en colocar una lechada de cemento en el espacio anular, este es un proceso complejo que depende de muchos factores entre los que tenemos la densidad de la lechada del cemento cuya presión hidrostática no debe fracturar los reservorios de baja gradiente de fractura (yacimientos explotados)

Otro de los factores es el efecto de compresión que debe lograr la mezcla para conseguir el sello hidráulico (resistencia a la compresión)

Por lo tanto este trabajo se ha centrado en lograr una lechada de cemento de baja densidad y de gran resistencia a la compresión mediante, de la selección de aditivos que logren estas propiedades importantes de la lechada del cemento.

2.2.1. Cementos usados en la cementación de pozos de acuerdo a la norma API SPEC 10A “Especificación de cementos y materiales”

El cemento Portland es una mezcla compleja de caliza (u otros materiales con alto contenido de carbonato de calcio), sílice, hierro y arcilla, molidos y calcinados, que fragua y se endurece al reaccionar con el agua. Los componentes que forman el cemento son óxidos superiores de oxidación lenta. Esto significa que terminan su grado de oxidación al estar en contacto con el aire al enfriarse.

El cemento Portland es, además, el ejemplo típico de un cemento hidráulico; fragua y desarrolla resistencias a la compresión como resultado de la hidratación, la cual involucra reacciones químicas entre el agua y los componentes presentes en el cemento.

De todos los cementos, el Portland es el más importante en cuanto a términos de calidad, desarrollo de resistencia a la compresión, tensión y a los sulfatos; por lo cual es el material idóneo para las operaciones de cementación de pozos petroleros.

Cabe mencionar que algunos cementos Portland se fabrican de manera especial debido a que las condiciones de los pozos difieren significativamente entre sí al variar su profundidad, temperatura, ubicación geográfica; etc. El fraguado y endurecimiento se presenta si el cemento se coloca en agua.

El cemento fraguado tiene baja permeabilidad y es insoluble en agua, de tal forma que expuesto a esta no se destruyen sus propiedades. Tales atributos son esenciales para que un cemento obtenga y mantenga el aislamiento entre las zonas del subsuelo

2.2.2. Tipos de cementos según la clasificación del API y la ASTM

El American Petroleum Institute (API) ha identificado nueve tipos de cementos de acuerdo a su composición y propiedades físicas, y los refiere como “**clase**”; en tanto el ASTM norma los cementos por “**tipos**”

2.2.2.1. Cemento clase “A”

Esta diseñado para emplearse a 1.830 m. (6.000 pies) de profundidad como máximo, con temperaturas de 77 °C (170 °F) y donde no se requieran propiedades especiales; no brinda ninguna resistencia a los sulfatos. Esta clase de cemento es el más barato. El ASTM denomina a este cemento como:

“**Tipo I**”. Este cemento es un producto obtenido de la molienda conjunta de Clinker y yeso. Por ser fabricado con Clinker.

“**Tipo II**”, tiene moderada resistencia al ataque por sulfatos (MSR). Y alta adherencia en las lechadas, lo que se traduce en un mejor soporte de la tubería.

El bajo contenido de C3A permite que las lechadas sean poco susceptibles al ataque por sulfatos provenientes de los estratos o fluidos circulantes en el pozo.

Por su moderado calor de hidratación, reduce en gran medida la posibilidad de fisuras, evitando el movimiento de fluidos hacia la tubería y protegiéndola contra la corrosión.

Posee un bajo contenido de cloruros.

2.2.2.2. Cemento clase “B”

Está diseñado para emplearse a 1.830 m. (6.000 pies) de profundidad como máximo, con temperaturas de 77 °C (170 °F). Este cemento no requiere propiedades especiales, y su aplicación se da cuando las condiciones del pozo lo permitan y donde se requiere moderada a alta resistencia a los sulfatos. Este cemento presenta un contenido C3A

menor que el cemento clase A y tiene un costo ligeramente superior. El ASTM denomina a este cemento como “**Tipo II**”.

Los cementos con bajo contenido de C3A son menos susceptibles al ataque de sulfatos.

Los sulfatos son considerados como los productos químicos mas corrosivos con respecto al cemento fraguado en el fondo del pozo. Ellos reaccionan con los cristales de calizas y de aluminato tricálcico. Estos cristales requieren un mayor volumen que el provisto por el espacio poroso en el cemento fraguado, y dan por resultado una excesiva expansión y deterioro del cemento.

Podemos encontrar estos sulfatos en las salmueras de las formaciones y algunos de ellos son, el sulfato de sodio y el sulfato de magnesio

2.2.2.3. Cemento clase “C”

Está diseñado para emplearse a 1.830 m. (6.000 pies) de profundidad como máximo, con temperaturas de 77 °C (170 °F), donde se requiere alta resistencia a la compresión temprana, se fabrican en los tres grados de resistencia a los sulfatos (baja, moderada y alta). Este cemento presenta un alto contenido C3S. El ASTM denomina a este cemento como **“Tipo III”**.

Este cemento requiere más agua de mezcla y por lo tanto se crea una lechada de baja densidad. Se asienta rápidamente pero no desarrolla mucha resistencia a la compresión. Tiene un alto contenido de C3A.

2.2.2.4. Cemento clase “D”

Este cemento se emplea de 1.830 (6.000 pies) hasta 3.050 m. (10.000 pies) de profundidad con temperaturas de hasta 110 °C (230 °F) y presión moderada. Se fabrica en moderada y alta resistencia a los sulfatos. Estos cementos resultan más costosos que otras clases de cementos. Este cemento representa al **tipo IV** para el ASTM

2.2.2.5. Cemento clase “E”

Este cemento se emplea de 3.050 (10.000 pies) hasta 4270 m. (14.000 pies) de profundidad con temperaturas de 143 °C (290 °F) y alta presión. Se fabrica en moderada y alta resistencia a los sulfatos. Estos cementos resultan más costosos que otras clases de cementos. Equivale al ASTM **tipo V**

2.2.2.6. Cemento clase “F”

Este cemento se usa de 3.050 (10.000 pies) hasta 4880 m. (16.000 pies) de profundidad con temperaturas de 160 °C (320 °F), donde exista alta presión. Se fabrica en moderada y alta resistencia a los sulfatos. Estos cementos resultan más costosos que otras clases de cementos. Equivale al ASTM **tipo VI**

Los cementos clase D, E y F (Cementos retardados), son utilizados para alcanzar mayores profundidades. Presentan una significativa reducción de las cantidades de C3A y de C3S y un aumento de tamaño de sus partículas lo que provoca un efecto retardante en el fraguado.

2.2.2.7. Cemento clase “G” y “H”

Comúnmente conocidos como cementos petroleros, son cementos básicos para emplearse desde la superficie hasta 2240 m. (8.000 pies)

Pueden modificarse con aceleradores o retardadores de fragüe, para usarlos en un amplio rango de condiciones de presión y temperatura. Se fabrica en moderada y alta resistencia a los sulfatos.

En cuanto a su composición, son similares a los cementos API Clase B. La composición química de los cementos clase G y H son esencialmente iguales.

La principal diferencia radica en su área superficial, los cementos clase H son más gruesos que los cementos clase G, que se evidencia a través de sus diferentes requerimientos de agua. Equivalen a los **ASTM tipo VII y VIII** respectivamente

Los cementos clase G y H son los más usados hoy en día. Fueron desarrollados en respuesta a las mejoras de la tecnología de aceleramiento y retardamiento

2.2.2.8. Cementos especiales

2.2.2.8.1. Cementos ultra finos

Las partículas de estos cementos son mucho más pequeñas que las del cemento Portland. El tamaño promedio de sus partículas es de $2\mu\text{m}$ en comparación con los cementos convencionales cuyas partículas poseen un tamaño comprendido entre 50 y $100\mu\text{m}$. La principal aplicación de estos cementos es como un cemento de peso liviano (densidad baja) con un desarrollo de resistencia temprano.

También son usados para reparar fracturas en el cemento, reparar fisuras en el revestimiento, cerrar flujos de agua u otros problemas similares, debido a que son capaces de penetrar aberturas pequeñas gracias al mínimo tamaño de sus partículas.

2.2.2.8.2. Cementos Epoxi

Son materiales comúnmente usados cuando el cemento está expuesto a fluidos corrosivos. Estos cementos no son solubles en ácido, pero son muy costosos.

Generalmente son usados en pozos inyectores donde se utilizan fluidos con bajo pH. Son productos puros y muy consistentes.

2.2.2.8.3. Escoria

La composición de este material es principalmente silicato mono cálcico, silicato di cálcico y aluminosilicatos di cálcico. Este compuesto es altamente tolerante a la contaminación con fluidos de perforación. Una de sus principales aplicaciones es la de convertir el lodo en cemento. Esta tecnología ha sido aplicada en pozos sometidos a inyección de vapor con muy buenos resultados.

2.2.2.8.4. Puzolanas

Son materiales silicios y aluminosos que poseen poco o ningún valor cementoso pero que, al reaccionar con el hidróxido de calcio a temperaturas moderadas, forman compuestos con propiedades de cemento. El más común de estos compuestos es el “FLY ASH” o ceniza volcánica, el cual se obtiene como residuo de las plantas eléctricas de carbón. Las puzolanas naturales provienen generalmente de las actividades volcánicas.

Cuando estos compuestos son utilizados en combinación con el cemento Portland, el Hidróxido de Calcio liberado por la hidratación

del cemento, reacciona con los aluminosilicatos presentes en la Puzolana para formar compuestos cementosos con propiedades cohesivas y adhesivas. El FLY ASH es el que más comúnmente es combinado con el cemento Portland debido a su bajo costo, no lo diluye e incrementa la resistencia a la compresión del mismo. Sin embargo, debido a su inconsistencia, solo es usado a temperaturas por debajo de los 200 °F.

2.2.2.8.5. Cementos diésel (cemento base diésel)

Este tipo de cemento resulta de mezclar un cemento API clase A, B, G o H, con diésel o kerosene y surfactante. Los cementos Diésel tienen un tiempo de bombeabilidad ilimitado y no fraguan a menos que se ubiquen en zonas con presencia de agua. Consecuentemente son muy usados para sellar zonas productoras de agua, donde la lechada absorbe el agua y el cemento fragua hasta endurecerse totalmente. También son usados para controlar perdidas de circulación.

El surfactante tiene la función de reducir la cantidad de hidrocarburos necesarios para humectar las partículas de cemento. Este tipo de cemento es muy utilizado para efectuar cementaciones en pozos de producción que tienen un alto corte de agua.

2.2.2.8.6. Cementos resinoso o plásticos

Son materiales especialmente usados para colocar tapones selectivos en pozo abierto, cementaciones a presión y para cementar zonas que se van a abandonar en un pozo.

Por lo general son mezclas de resinas liquidas, un catalizador en polvo y un cemento API clase A, B, G o H.

La propiedad más particular de estos cementos es cuando se aplica presión a la lechada, la fase resinosa puede ser estrujada frente a la zona permeable y formar un sello dentro de la formación. Estos cementos se usan en pozos donde se requieren volúmenes relativamente bajos de lechada, son efectivos a temperaturas que van desde 15,5 °C (60 °F) hasta 93 °C (200 °F).

2.2.3. Cementos usados en la cementación de pozos en el noroeste

En la Industria Petrolera la cementación de un pozo es el proceso mediante el cual se coloca una lechada de cemento en el espacio anular formado entre las formaciones que se han perforado y la tubería de revestimiento, en muchos casos esto puede hacerse en una operación simple, bombeando cemento debajo de la tubería de revestimiento a través del zapato guía del revestimiento, hacia arriba y dentro del espacio anular.

2.2.3.1. Tipos de cementación

2.2.3.1.1. Cementación Primaria.

Se realiza al cementar los revestidores del pozo (conductor, superficial, intermedio, producción, etc.) durante la perforación. Entre

los objetivos principales de esta cementación se pueden mencionar los siguientes:

- Adherir y fijar la sarta de revestimiento.
- Restringir el movimiento de fluidos entre las formaciones productoras y el confinamiento de los estratos acuíferos.
- Proteger la sarta contra la corrosión.
- Reforzar la sarta contra el aplastamiento debido a fuerzas externas y reforzar la resistencia de la sarta a presiones de estallido.
- Proteger la sarta durante los trabajos de cañoneo (completación).
- Sellar la pérdida de circulación en zonas "ladronas".

2.2.3.1.2. Cementación Secundaria.

También llamada "Squeeze", es el proceso de forzamiento de la lechada de cemento en el pozo, que se realiza principalmente en reparaciones/reacondicionamientos o en tareas de terminación de pozos. Puede ser cementaciones forzadas y tapones de cemento.

Los propósitos principales de esta cementación son:

- Reparar trabajos de cementación primaria deficientes.
- Reducir altas producciones de agua y/o gas.
- Reparar filtraciones causadas por fallas del revestidor.
- Abandonar zonas no productoras o agotadas.
- Sellar zonas de pérdidas de circulación.
- Proteger la migración de fluido hacia zonas productoras.

Las cementaciones secundarias pueden definirse como procesos de bombear una lechada de cemento en el pozo, bajo presión, forzándola contra una formación porosa, tanto en las perforaciones del revestidor o directamente el hoyo abierto. Por lo que las cementaciones secundarias pueden ser: forzadas y/o tapones de cemento.

2.2.3.1.3. Cementación Forzada.

Es el tipo más común de cementación secundaria. El proceso comprende la aplicación de presión hidráulica para forzar cemento en un orificio abierto a través de perforaciones en el revestidor, para corregir ciertas anomalías. La cementación forzada puede hacerse: con empaquetadura y/o con retenedor. Cuando se diseña una cementación forzada se debe considerar:

- Tipo de cemento.
- Tiempo total de bombeo requerido.
- Tiempo para alcanzar las condiciones del pozo.
- Control de filtrado.
- Resistencia del cemento.
- Desplazamientos y cálculos básicos en condiciones del pozo.

2.2.3.1.4. Tapones de Cemento.

Operación que consiste en colocar una columna de cemento en un hoyo abierto o revestido, con cualquiera de los siguientes objetivos:

- Aislar una zona productora agotada.
- Pérdida de control de circulación.
- Perforación direccional.
- Abandono de pozo seco o agotado.

Pruebas de Tapones de Cemento: el método más común para probar la calidad de la resistencia de un tapón de cemento es bajar una mecha, tubería de perforación o con presión. El tiempo de fraguado después de la colocación de un tapón varía de 8 a 72 horas, dependiendo del uso de aceleradores o el tipo de pozo.

2.2.4. Parámetros de cementación

- Gradiente de Temperatura,
- Propiedades del lodo.
- Profundidades críticas (gas, pérdida de circulación, etc.).
- Desviaciones del pozo.
- Calibre del hueco.
- Compatibilidad del lodo con los materiales de cementación.
- Topes formaciones finales y determinación de las zonas potencialmente productivas.

2.2.4.1. Situación actual

En la actualidad el proceso de cementación se realiza de la siguiente manera:

2.2.4.1.1. Acondicionamiento del hueco principal: El cual consiste en la circulación del lodo para lograr que tenga las condiciones apropiadas para la cementación y de esta manera lograr las condiciones de estabilidad y limpieza en el pozo.

2.2.4.1.2. Bombeo de lavador y espaciador: Antes de bombear la lechada de cementación, por lo general, se bombea un lavador químico o un espaciador densificado, o ambos, para que actúen como buffer entre el fluido de perforación y el cemento. Los lavadores químicos son fluidos base agua que pueden utilizarse en espacios anulares pequeños con geometría del agujero regular. Estos fluidos pueden utilizarse cuando se puede lograr turbulencia en todas las secciones del espacio anular. Los espaciadores son fluidos densificados que se bombean en flujos turbulentos o laminares. Estos productos sirven para eliminar completamente los fluidos de perforación del anular antes de inyectar la lechada de cementación y lograr una buena cementación.

2.2.4.1.3. Lanzamiento del tapón inferior (tapón de fondo): En los trabajos de cementación primaria, se desplaza después de haber bombeado el fluido lavador.

2.2.4.1.4. Bombeo de la lechada inicial o de relleno: Esta lechada es de menor densidad, está diseñada para proteger la parte superior del anular del revestimiento

2.2.4.1.5. Bombeo de la lechada de cola: La lechada de cola es una lechada de mayor densidad, diseñada para cubrir la sección inferior del anular desde el fondo del agujero. Normalmente, la lechada de cola presenta unas propiedades superiores a las de la lechada inicial. Es esencial que la lechada de cementación tenga la densidad correcta para que sus propiedades sean las deseadas

2.2.4.1.6. Lanzamiento del tapón superior: El segundo tapón limpiador de cementación se denomina tapón superior. Se bombea al final de los trabajos de cementación con el fin de separar la lechada del fluido de desplazamiento que se bombea en la siguiente etapa del proceso, y evitar así que sea contaminada por dicho fluido. Una vez que la lechada ya se ha bombeado en la tubería de revestimiento, el tapón superior se lanza desde la cabeza de cementación

2.2.4.1.7. Desplazamiento de las lechadas y tapones con fluido para desplazamiento: A continuación, las lechadas de cementación y los tapones limpiadores se bombean (son desplazados) hacia el fondo del pozo mediante el fluido de perforación u otro fluido. Este fluido de desplazamiento empuja el tapón superior y la lechada hacia abajo por la tubería de revestimiento. Cuando el tapón limpiador inferior llega al collar de flotación, la membrana situada en su parte superior se rompe y la lechada es bombeada, saliendo de la parte inferior de la tubería de revestimiento y subiendo por el anular.

Cuando el tapón superior llega al tapón inferior, hay un aumento de presión. Las lechadas de cementación se encuentran en el espacio anular y en el recorrido de zapata. El proceso habrá finalizado cuando se indique un aumento de presión en la superficie y el proceso de desplazamiento haya terminado. Luego, retornarán de dos a cinco barriles y parará el flujo. Si este flujo de retorno continúa, significa que hay fugas en el collar de flotación

2.2.4.1.8. Comprobación de retorno de fluido: cabe mencionar que durante la bajada de la tubería de revestimiento primero se coloca un tubo guía (zapato) y seguido de este viene el collar de flotación el cual está equipado con una válvula de retención que evita que los fluidos regresen por la tubería de revestimiento. Si la válvula está defectuosa, la lechada puede empujar los tapones y el fluido por la tubería de revestimiento, debido al efecto de retorno de los tubos en U. Al final de un trabajo de cementación, es necesario comprobar que la válvula del collar de flotación o la zapata de flotación no presenten fugas.

Para realizar esta comprobación se espera a que el fluido retorne a los tanques de desplazamiento de la unidad de cementación. Si el collar de flotación o la zapata de flotación funcionan correctamente, dejarán que vuelvan de dos a cinco barriles y luego se interrumpirá el flujo.

En caso de tener un mayor volumen de retorno se presurizará el cabezal con la presión que neutralice el flujo de la lechada.

2.2.4.1.9. Aditivos

Los aditivos son sustancias que permiten adaptar los diferentes cementos petroleros a las condiciones específicas de trabajo. Pueden ser sólidos y/o líquidos (solución acuosa).

Los aditivos de cemento pueden ser usados para:

- Variar la densidad de la lechada.
- Cambiar la resistencia a la compresión.
- Acelerar o retardar el tiempo de fragüe.
- Control de filtrado y pérdida de fluido.
- Reducir la viscosidad de la lechada.

Entre algunos aditivos usados en las pruebas realizadas se tienen:

a) **Cloruro de Calcio (CaCl_2):** esta sal es un acelerador de fragüe, se dosifica de 2,0 a 4,0% por peso de cemento, dependiendo del tiempo de bombeabilidad que se desea obtener. Es el producto que exhibe mayor control en el tiempo de bombeabilidad. Los resultados no son predecibles si la concentración excede el 6 %

b) **Cloruro de Sodio (NaCl):** Actúa como acelerador en concentraciones de 2,0 – 2,5 % por peso de cemento. Más comúnmente en concentraciones de hasta 10% por peso de agua de mezcla, en concentraciones entre 10 – 18% es esencialmente neutral y el tiempo de fraguado es similar al obtenido con agua dulce. A concentraciones mayores al 18% causa retardación de fragüe.

Ventajas:

- Minimiza el daño en zonas sensibles al agua dulce
- Produce ligera expansión.
- Actúa como dispersante en las lechadas reduciendo su viscosidad.

Desventajas:

- Puede causar algo de espuma durante su mezclado.
- No debe emplearse en lechadas que contengan FT-4.
- Tiene problemas de compatibilidad con la mayoría de los reductores de filtrado.

c) **Silicato de sodio:** El silicato de sodio es utilizado principalmente para acelerar las lechadas de cemento que contienen carboximetil hidroxietil celulosa retardante

d) **SR-2:** es un producto químico que prolongan el tiempo de fraguado inicial de las lechadas de cemento y brindan la

posibilidad de trabajar el cemento en un amplio rango de temperatura y presión. En pozos profundos, las altas temperaturas reducen el tiempo de bombeabilidad de las lechadas de cemento. Los retardadores se usan para prolongar el tiempo de bombeabilidad y evitar los riesgos del fraguado prematuro.

- e) **FT-4 y CFL 117:** Se usan para prevenir la deshidratación de las lechadas de cemento y evitar un fragüe prematuro. Generalmente los reductores de filtrado son productos derivados de celulosa. El valor del filtrado estipulado por el API varía de acuerdo con el tipo de operación a realizar:
- Cementación de Tubería de Revestimiento: No mayor a 200 cm³.
 - Cementación de Tubería Corta (Liner): No mayor a 50 cm³.
 - Cementación Forzada: De 30 a 50 cm³

El valor del filtrado API se mide en cm³ a 30 minutos bajo una presión diferencial de 1000 psi.

- f) **Isil MR :** El ISIL MR es un aditivo mineral de alta concentración de silicio utilizado principalmente como mejorador de resistencia temprana.

El ISIL MR también puede ser usado en lechadas anti migratoria porque acorta el tiempo de transición, evitando que el gas percole a través de la matriz de cemento formando canales permanentes

- Mejora la resistencia inicial del anillo de cemento.
- Extendedor de lechadas alivianadas
- No perjudica las propiedades de la lechada

Concentraciones de uso

La concentración del ISIL MR debe ser determinada de acuerdo a la necesidad o aplicación que se le dé, sus concentraciones varían entre el 4% y el 12%, para una concentración optima se realizan los ensayos en laboratorio.

En la hoja técnica se detalla el grado de toxicidad y otras especificaciones propias del producto.

La hoja técnica del Isil MR se encuentra en el Anexo 1

Cementos ligeros Durante las operaciones de cementación, el punto crítico es mantener el equilibrio de la presión en el espacio anular entre la presión de poro y la de fractura, sin embargo, el principal factor que interviene es la presión ejercida en el espacio anular por la densidad de la lechada, la cual ejerce una presión hidrostática contra la formación. La densidad de la lechada es un parámetro que puede ser controlado durante las etapas de diseño y de operación por lo que se le considera como un parámetro

principal para reducir la presión ejercida en el espacio anular, otro parámetro sería equilibrar el sistema de fuerzas que intervienen en el pozo controlando la fuerza que genera la lechada de cemento y el fluido de desplazamiento contra la fuerza del yacimiento, siempre encontrando el equilibrio entre éstas. Las lechadas de baja densidad son lechadas livianas y flexibles, que una vez fraguados, cumplen con los requerimientos necesarios (resistencia a la compresión, flexión y tensión) para la continuación de la perforación, así como el aislamiento de zonas productoras de hidrocarburos durante la vida productora del pozo. 77 Todos los cementos sometidos a confinamiento con el tiempo tienden a alcanzar una resistencia más o menos equivalente a la de la formación, independientemente del diseño inicial de la lechada. Este tipo de lechadas requiere un control de calidad en el mezclado en seco de sus componentes y debe ser monitoreado el contenido de sólidos durante la mezcla de la lechada en campo, debido a que el peso específico de la mezcla en seco es muy similar al peso específico del agua de mezcla, por lo que con sistemas convencionales (densímetros y balanzas convencionales) no se podría tener la certeza de que se está bombeando agua de mezcla con pocos o con gran cantidad de sólidos, situación que afecta las propiedades finales del cemento (esfuerzo a la compresión y permeabilidad). La adhesión del cemento a la tubería de revestimiento está vinculada de cierta manera con la resistencia a la compresión. Las lechadas ligeras debidamente mezcladas con aditivos producirán una mezcla flexible, dúctil y de alta resistencia a la compresión, suficiente para garantizar un buen sello físico durante la vida productiva del pozo. Para un buen sello en el espacio anular, el cemento debe ser lo suficientemente flexible para comportarse de forma similar a como lo hacen los elementos elásticos en un empacador. A finales del año 2000 (Schlumberger) y 2001 (Halliburton) salieron al mercado con las lechadas ultraligeras de alto esfuerzo a la compresión, tratando de solucionar la problemática presente en los yacimientos depresionados y con alto grado de pérdida de fluido (visto en las operaciones de cementación), en estas se aplica el concepto de distribución de partículas sólidas de diferentes tamaños y pesos específicos, lo que significa la optimización de sólidos en la matriz de la lechada, dando como resultado una lechada reológicamente estable. La optimización de la distribución del tamaño y el empleo de partículas de bajo peso específico, menor a la del agua ($1.0 \text{ [gr cm}^3 \text{]}$) permitió ajustar las propiedades de la lechada en forma independiente del contenido de agua, desarrollando lechadas ultraligeras con densidades de hasta $1.0 \text{ [gr cm}^3 \text{]}$.

Fuente: A. Malishev. Tecnología de los metales. Editorial Pueblo y Educación; 1989.

2.3. GLOSARIO DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **Bombeabilidad:** La capacidad de la lechada de ser bombeada. La bombeabilidad normalmente se mide mediante el ensayo de tiempo de espesamiento del API.
- **Resistencia a la compresión:** es la característica mecánica principal del concreto. Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área.
- **Tiempo de fragüe:** es el tiempo que tarda el cemento en alcanzar la resistencia necesaria mientras se solidifica.
- **Casing:** Una tubería de gran diámetro que se baja en un agujero descubierto y se cementa en el lugar
- **Aditivos de cementación:** Químicos y materiales agregados a la lechada de cemento para modificar las características de la lechada o del cemento fraguado. Los aditivos de cementación pueden clasificarse en líneas generales como aceleradores, retardantes, aditivos de control de pérdida de fluido, dispersantes, extensores, densificantes, aditivos de control de pérdida de circulación y aditivos especiales diseñados para condiciones de operación específicas.
- **Densidad:** La densidad es el peso por unidad de volumen y suele expresarse en lbm/galUS o kg/m³. Las lechadas utilizadas en la cementación de pozos de petróleo y gas tienen una densidad entre 11,5 lbm/galUS y 19,0 lbm/galUS [1.380 kg/m³ y 2.280 kg/m³].
- **Reología:** La reología define las propiedades de flujo de la lechada. Estas características se controlan con el fin de facilitar la mezcla y bombeabilidad y obtener las características deseadas del caudal del fluido. Las propiedades del fluido que definen la reología son:
 - **Viscosidad plástica (PV)** expresada en Cp (centipoise): pendiente de la línea de esfuerzo de corte/velocidad de corte por encima del punto de cedencia.
 - **Punto de cedencia (YP)** expresado en libras de fuerza/100 pies cuadrados: mide la resistencia del fluido a fluir.Cuanto más sólidos contenga una lechada, mayor será la viscosidad plástica. Cuanto mejor sea la dispersión entre las partículas hidratadas de cemento, menor será el punto de cedencia.
- **Tiempo de espesamiento:** Las pruebas del tiempo de espesamiento sirven para calcular el tiempo que una lechada está en estado líquido en las condiciones de presión y temperatura simuladas del pozo. Estas condiciones se simulan mediante un consistómetro presurizado, que mide la consistencia de la lechada de prueba contenida en una copa rotativa. Los resultados de la prueba se expresan en unidades Bearden de consistencia (Bc). La prueba del tiempo de espesamiento finaliza cuando la lechada de cementación alcanza una consistencia de 100 Bc. No obstante, 70 Bc se considera el valor máximo de consistencia bombeable.
- **Collar de flotación.** Un componente instalado cerca del extremo inferior de la sarta de revestimiento en el que se asientan los tapones de cemento durante la operación de **cementación** primaria. Generalmente consiste en un tramo corto de tubería de revestimiento provisto de una válvula de retención.

- **Espacio anular:** El espacio existente entre dos objetos concéntricos, tal como el espacio entre el pozo y la tubería de revestimiento o entre la tubería de revestimiento y la tubería de producción, donde puede fluir el fluido.
- **Completación** o terminación al conjunto de trabajos que se realizan en un **pozo** después de la perforación o durante la reparación, para dejarlos en condiciones de producir eficientemente los fluidos de la formación o destinarlos a otros usos, como inyección de agua o gas.
- **El fluido de perforación o lodo** como comúnmente se le llama, puede ser cualquier sustancia o mezcla de sustancias con características físicas y químicas apropiadas, como, por ejemplo: aire o gas, agua, petróleo o combinaciones de agua y aceite con determinado porcentaje de sólidos.
El fluido no debe ser tóxico, corrosivo, ni inflamable, pero sí inerte a las contaminaciones de sales solubles o minerales y estable a las altas temperaturas. Además, debe mantener sus propiedades según las exigencias de las operaciones, debe ser inmune al desarrollo de bacterias.

2.4. HIPÓTESIS

Con el aditivo Isil MR es factible lograr una buena cementación primaria con cementos de baja densidad, logrando una resistencia a la compresión adecuada y de este modo poder usar una sola lechada en todo el proceso de cementación

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. ENFOQUE Y DISEÑO

Enfoque mixto y diseño experimental

3.2. SUJETOS DE LA INVESTIGACIÓN

Pozos del lote X

3.3. METODOS Y PROCEDIMIENTOS

Los métodos usados en el presente trabajo de investigación fueron los siguientes:

Como se puede observar en la cementación convencional se usan 2 tipos de lechadas la lechada de relleno cuyo principal objetivo es disminuir gastos al ser una lechada de menor densidad y por tanto de menor resistencia, también se usa una lechada de cola o lechada principal, cuya densidad es mayor, teniendo una mayor resistencia y por tanto será es la que cumpla las funciones de mantener una eficaz cementación en la zona productiva, sin embargo al utilizarse 2 tipos de lechadas , no se logra que la cementación sea uniforme a lo largo de todo el pozo y el no tener una lechada de propiedades homogéneas frente a la formación productiva, hacen que el cemento no tenga un fraguado adecuado, lo cual da lugar al colapso y corrosión del casing por las bacterias del fluido de perforación.

Sin embargo, si se usara una sola lechada que cumpla con las condiciones de resistencia suficientes para garantizar una adecuada cementación, estos problemas se solucionarían.

3.3.1. Análisis de laboratorio

Un buen trabajo de cementación depende de llevar a cabo una preparación adecuada de los equipos, materiales y personal, así como del diseño y las pruebas del trabajo.

Los ensayos realizados permiten realizar una simulación de la cementación durante el proceso de la operación, ya que se simulan las condiciones netas operativas con los aditivos a utilizarse en la lechada del cemento La norma API RP 10B delinea las prácticas recomendadas para las pruebas de laboratorio que se llevan a cabo con las lechadas de cemento para pozos de petróleo, así como sus aditivos; el proceso se describe a continuación:

- a) Con ayuda de una balanza electrónica se pesará el cemento y los aditivos, se debe marcar el peso indicado en la pantalla de la balanza que deberá tener una exactitud de ± 0.1 por ciento del peso indicado y deberá tener la capacidad necesaria para pesar por lo menos 1.5 kg. La balanza deberá ser calibrada con suficiente frecuencia para asegurar su precisión, como mínimo, una vez al año.
- b) El cemento y los aditivos previamente pesados se mezclan utilizando una mezcladora, la cual será utilizada en la preparación de lechadas, se debe tener un vaso con capacidad de 0.95 L (1/4 de gal), rotor en el fondo y aspas tipo licuadora. El vaso de mezclado, así como las aspas, deberán estar contruidos de algún material resistente a la corrosión. El ensamble de mezclado deberá estar contruido de tal manera que las. Aspas puedan ser retiradas fácilmente de éste. Debido a que las lechadas de cemento son muy

abrasivas, es esencial un cuidadoso monitoreo de las condiciones de las aspas; por tal razón, éstas deberán retirarse del ensamble y ser pesadas antes de su uso; en caso de que hayan perdido el 10% de su peso original deberán ser reemplazadas por unas nuevas. Las aspas también deberán ser inspeccionadas visualmente para detectar algún daño, para reemplazarlas en caso necesario. Durante el proceso de mezclado, el vaso deberá ser observado para detectar posibles fugas. Si fuese el caso, deberá ser descargado el contenedor, y desecharse la mezcla para reparar el daño y reiniciar el proceso.

Una vez realizada la mezcla de cemento y aditivos, se realizan las siguientes pruebas.

- c) **El tiempo de espesamiento** es el tiempo que la lechada de cemento permanecerá bombeable bajo condiciones del pozo. También se define el tiempo requerido para que la lechada alcance 100 unidades Bearden de consistencia.

Es importante tomar en cuenta que el tiempo de espesamiento debe de ser mayor que el tiempo que va a durar el trabajo de cementación, para evitar cementación en la superficie de la tubería, en la cabeza de cementación y/o dentro del revestidor. Por lo tanto, este tiempo se debe estimar como el tiempo total del trabajo de cementación más un factor de seguridad de una a dos horas.

En otras palabras, determina cuánto tiempo la lechada permanece en estado fluido, (y por consiguiente bombeable)

bajo una serie de condiciones dadas en el laboratorio. (Presión y temperatura).

- d) **Determinación de la Resistencia:** Hoy en día se mide la resistencia a la compresión en un analizador ultrasónico “UCA” (Ultra Sonic Cement Analyzzer). Con este aparato se determina el desarrollo de la resistencia a la compresión de las lechadas en forma continua donde la muestra es sometida a alta presión y temperatura (simulando las condiciones del pozo).

- e) **Determinación del filtrado:** es la cantidad de agua que se pierde de un cemento bajo condiciones de presión y temperatura, se realizan 2 tipos de pruebas una a baja presión y una a alta presión, en la prueba a baja presión la muestra se somete a una presión de 100 psi, mientras que, en la prueba a alta presión, la muestra se somete a una presión de 1000 psi.

Si la muestra se deshidrata antes de los 3 minutos se extrapola para reportar cc/30 minutos.

- f) **Reologías** Por medio de esta prueba se describe el comportamiento de la lechada en movimiento a través de la tubería y otros ductos. Para describir las propiedades reológicas de las lechadas de cemento se utilizan el modelo de plástico de Bingham o el modelo de la ley de las Potencia

El viscosímetro de Fann, es un aparato de tipo rotacional, movido por un motor sincronizado a dos velocidades diferentes que permite obtener velocidades rotacionales de 600, 300, 200, 100, 6 y 3 RPM.

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

Las propiedades de la lechada y del cemento fraguado se diseñan y evalúan en un laboratorio, donde se simulan las distintas condiciones en las que van a emplearse. Los procedimientos de prueba en laboratorio se rigen por las normas incluidas en API RP 10B: Procedimiento

Recomendado para la Prueba de Cementos para Pozos (Recommended Practice for Testing Well Cements).

Las técnicas usadas serán la recolección de datos y comparación entre ellos a fin de lograr la resistencia y bombeabilidad adecuada.

Los instrumentos usados son:

- **Consistómetro presurizado:** Instrumento que mide el tiempo de bombeabilidad de una lechada de cemento es el tiempo durante el cual la lechada de cemento puede ser bombeada y desplazada dentro del espacio anular (la lechada es bombeable durante este tiempo). La lechada debe tener suficiente tiempo de bombeabilidad para permitir ser: mezclada y bombea dentro de la tubería y luego esta pueda ser desplazada a través del fluido de la perforación hasta que este se ubique el lugar requerido.
Generalmente un tiempo de bombeabilidad de 2 a 3 horas es suficiente para permitir que las operaciones sean completadas. Este tiempo también es suficiente por si ocurre algún retraso o interrupción en las operaciones de cementación. El tiempo de bombeabilidad que se requiere para una operación en particular deberá ser cuidadosamente seleccionado de manera que las siguientes actividades operacionales sean satisfechas:
- **Consistómetro atmosférico:** simula las condiciones de temperatura, pero no de presión en una lechada de cemento, consiste en una paleta giratoria que mantiene en movimiento el cemento
- **UCA (ultrasonic cement analyzer):** permite determinar la resistencia que alcanzara un cemento a las 15 o 24 horas de iniciado su fraguado
- **Balanza electronica:** permite medir las cantidades de aditivos usados en la preparación de una lechada de cemento
- **Instrumento para medir la perdida de filtrado:** El proceso de fraguado de la lechada es el resultado de que el cemento empiece a hidratarse con el agua de mezcla. Si se pierde agua de la lechada de cemento antes de que esta haya sido posicionada en el espacio anular, su tiempo de bombeabilidad decrecerá y las formaciones sensibles al agua pueden ser afectadas de manera adversa. La cantidad de agua perdida que puede ser tolerada depende de operación de cementación y de la formulación de la lechada.
- **Balanza de lodo:** Un dispositivo para medir la densidad (el peso) de lodo, cemento u otro líquido o lechada. La balanza para lodo se compone de un vaso para el lodo de volumen fijo con una tapa en un extremo de una barra graduada y un contrapeso en el otro extremo. Una pesa deslizante puede ser movida a lo largo de la barra y una burbuja indica cuando la barra está a nivel. La lectura de la densidad se toma en el punto donde la pesa deslizante está posicionada en la barra cuando está a nivel. La precisión del peso del lodo debería ser de $\pm 0,1$ lbm/gal ($\pm 0,01$ g/cm³). La balanza para lodo puede calibrarse con agua u otro líquido de densidad conocida ajustando el contrapeso. La mayoría de las balanzas no están presurizadas, pero la balanza para lodo presurizada opera de la misma manera.

3.5. ASPECTOS ÉTICOS:

El presente trabajo de investigación es de autoría propia, los análisis de laboratorio fueron utilizando el API RP 10 B, lo que permiten validar la hipótesis de la tesis a fin de obtener resultados mediante los informes arrojados de cada máquina usada.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO

Todos los ensayos antes mencionados en el capítulo anterior se realizan en laboratorio a un cemento para evaluar como actuaran a condiciones de pozo.

El presente trabajo de investigación se considera para pozos de profundidades menores a los 4000 ft utilizando el tipo de cemento que se viene empleando actualmente en la cementación de pozos del noroeste, por lo cual para un análisis completo tomaremos como referencia un pozo de 3800 ft considerando que es el promedio de los pozos perforados en el área.

En este pozo la cementación primaria se efectúa en 2 etapas, en la primera etapa se utiliza una lechada una lechada de relleno de densidad igual a 12.6 lb/gal y en la segunda etapa la lechada principal de densidad igual a 14.1 lb/gal.

La lechada principal es la de mayor densidad y por consiguiente de mejores propiedades, gracias a tener una mayor concentración de cemento logra tener una mejor resistencia a la compresión y un bajo filtrado.

A continuación, se presenta un análisis de laboratorio en el cual se analizarán las propiedades de la lechada principal de cemento de densidad igual a 14.1 lb/gal.

Para ello se muestra un fragmento del preliminar de cementación en donde se especifican las características deseadas para la lechada de cemento, tanto para la lechada principal como para la lechada de relleno, sin embargo, solo se estudiará el análisis de laboratorio de la lechada principal.

Para esta lechada los indicadores que se requieren son:

- Resistencia a la compresión de 1600 psi.
- Tiempo de bombeabilidad de 180 minutos, este tiempo es bajo debido a que la lechada principal se coloca después de que la lechada de relleno es bombeada, para la lechada de relleno el tiempo de bombeabilidad es de 240 minutos.
- Filtrado de 230 cc/30 minutos.

Pruebas de laboratorio para una lechada convencional de 14.1 lb/gal

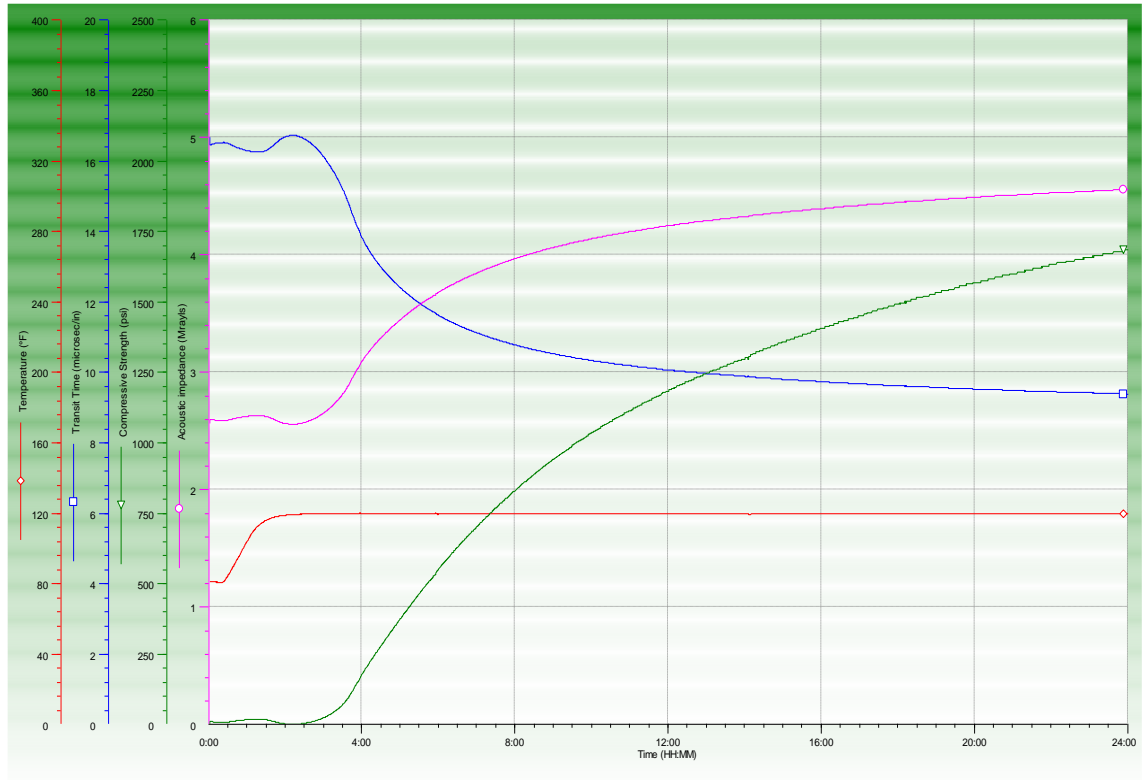
COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA

	Mezcla Relleno	Mezcla Principal	Descripción
Tipo de Cemento:	Atlas	Atlas	Cmto. Tipo "A"
+ FC-22/CFL-117	0.65%	0.38%	Reductor de Filtrado
+ Clear Air 2325	0.20%	0.20%	Antiespumante
+ SR-2	0.00%	0.15%	Retardador de Fragüe
+ Silicato de Sodio	1.50%	0.70%	Extendedor
+ FT-04	0.00%	0.50%	Dispersante

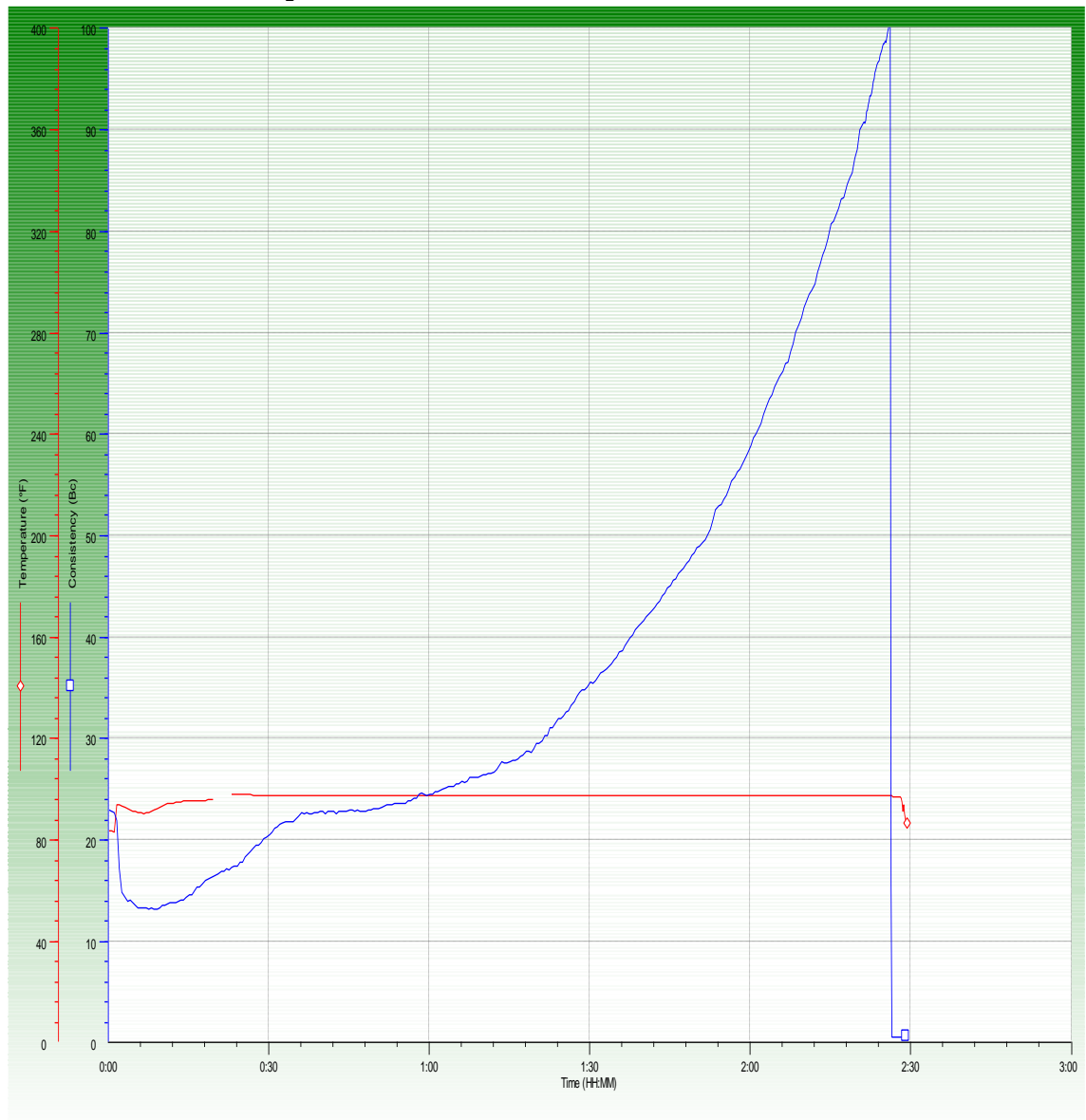
PROPIEDADES DE LA MEZCLA

	Relleno	Principal
Densidad (ppg):	12.6	14.1
Rendimiento (ft ³ /sx):	1.8	1.46
Req. Agua (gin/sx):	10.82	6.99
Bombeabilidad (min):	240	180
Agua Libre (%):	0.8	0.1
Filtrado (mL/30min a 102°F):	320	230
Esfs. a la Compres. (PSI/24 hrs. a 130°F):	800	1600

4.1.1. Curva UCA de Resistencia a la Compresión



4.1.2. Curva de Tiempo de Bombeabilidad



4.1.3. Filtrado: 230 cc/30 minutos

Ensayos Físicos según los lineamientos establecidos por Normas API RP 10B (Cont.)		
Perdida por Filtrado API		
Temperatura de ensayo		Presión de ensayo
36 °C		1000 psi
97 °F		
Tiempo (min)	Filtrado	
	● ml	○ gr
0.5	12.00	
1.0	21.00	
2.0	34.00	
5.0	57.00	
7.5	71.00	
10.0	84.00	
15.0	101.00	
25.0	131.00	
30.0	144.00	
Densidad del fluido pesado (gr/lit): Blowout: ml en minutos <input checked="" type="radio"/> Perdida por Filtrado API: 227.00 ml/30min <input type="radio"/> Perdida por Filtrado API Calculada: ml/30min Observaciones:		

Perdida de Filtrado

Como se observa en los ensayos una lechada de 14.1 lb/gal cumple a cabalidad con los requerimientos del preliminar de un pozo.

4.2. ENSAYO DE LABORATORIO CON LA LECHADA PROPUESTA UTILIZANDO EL ADITIVO ISIL MR PARA UNA DENSIDAD DE 12.6 lb/gal

Esta lechada cuenta con la siguiente composición:

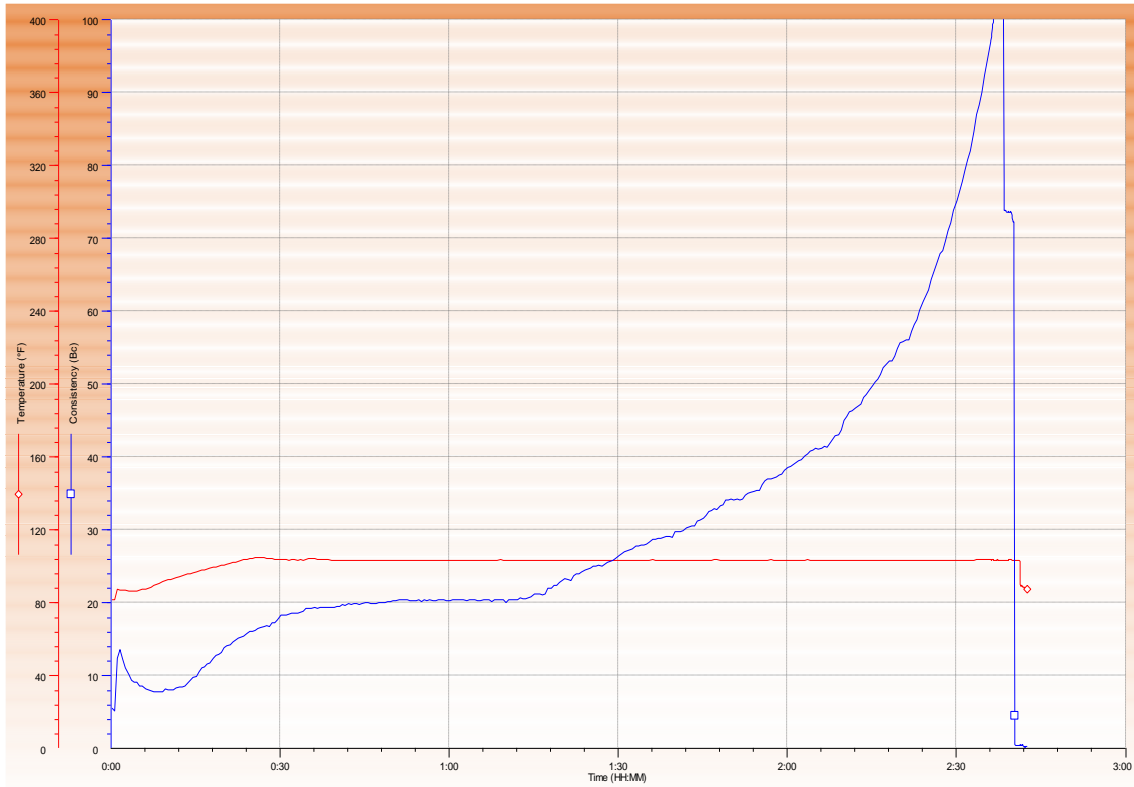
Composición de la Lechada		
Cemento marca:	Puzolánico	Tipo IP
Reductor de filtrado:	CF-43	0.60% BWOC
Reductor de fricción:	FT-4	0.35% BWOC
Antiespumante:	ASP-742	0.15% BWOC
Retardador de fragüe:		BWOC
Inhibidor de arcillas:		BWOC
Acel. de fragüe:		BWOC
Cloruro de Sodio:		BWOW
Otros aditivos:	SILICATO DE Na	0.70% BVOW
Otros aditivos:		BWOC
Otros aditivos:		BWOC
Otros aditivos:		BWOC
Agua de Mezcla:	<input type="radio"/> Pozo <input checked="" type="radio"/> Laboratorio	62% BWOC

Lo que el presente trabajo busca es lograr reemplazar el uso de dos lechadas de cemento (la lechada principal y la lechada de relleno) por una sola lechada para lo cual se han realizado ensayos en el laboratorio de la empresa CPVEN Peru.

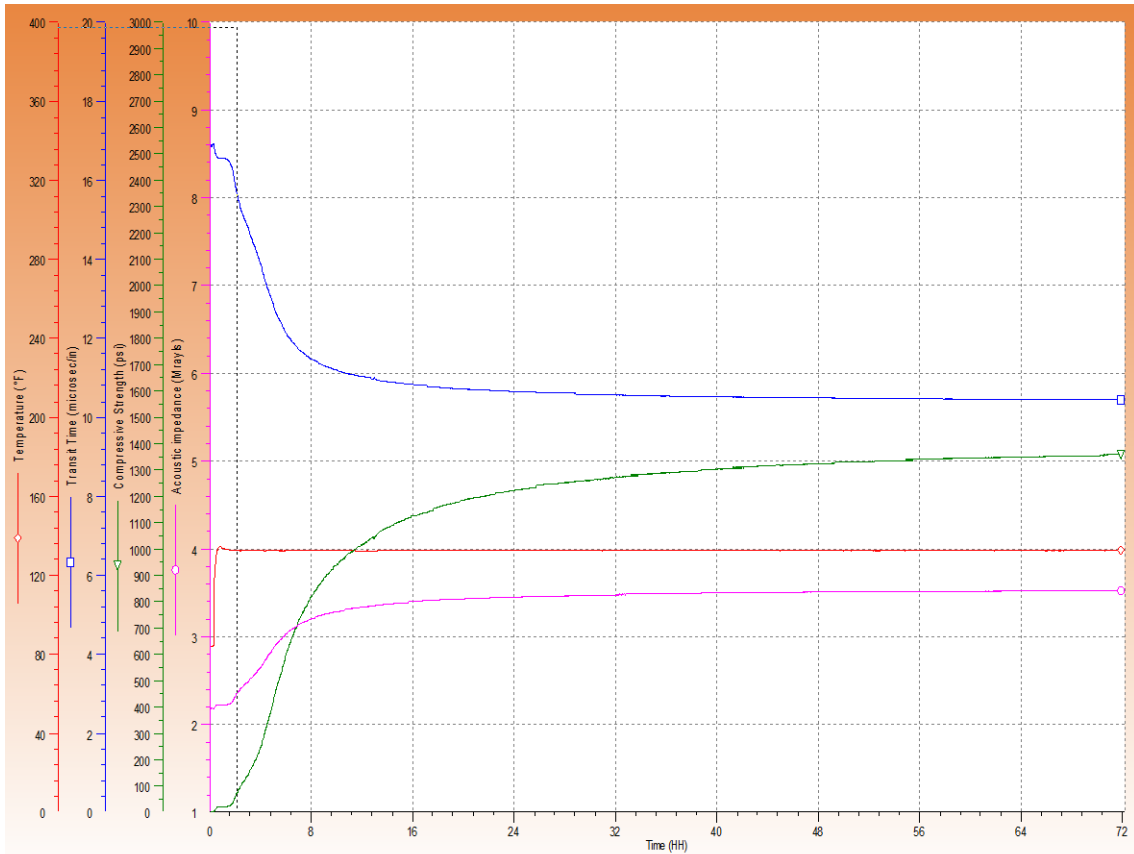
En estos ensayos se ha logrado producir una lechada de una densidad igual a 12.6 lb/gal , la cual cumple con las propiedades del preliminar de pozo, convirtiendose en una alternativa. Para realizar esta lechada no solo se han modificado algunas concentraciones de los aditivos, tambien se ha adicionado un aditivo ISIL MR el cual permite un aumento considerable de la resistencia a la compresion del cemento.

Composición de la Lechada		
Cemento marca:	Puzolánico	Tipo IP
Reductor de filtrado:	FC-23	1.50% BWOC
Reductor de fricción:		BWOC
Antiespumante:	Clear Air 2325	0.20% BWOC
Retardador de fragüe:	SR-2	0.10% BWOC
Inhibidor de arcillas:		BWOC
Acel. de fragüe:		BWOC
Cloruro de Sodio:		BWOW
Otros aditivos:	SILICATO DE Na	1.50% BVOW
Aditivo Multipropósito	ISIL MR	5.0% BWOC
Reductor Filtrado		BWOC
Retardador de fragüe:		BWOC
Agua de Mezcla:	<input type="radio"/> Pozo <input checked="" type="radio"/> Laboratorio	96% BWOC

4.2.1. Curva UCA de Resistencia a la Compresión



4.2.2. Curva de Tiempo de Bombeabilidad



4.2.3. Filtrado

Ensayos Físicos según los lineamientos establecidos por Normas API RP 10B (Cont.)

Perdida por Filtrado API

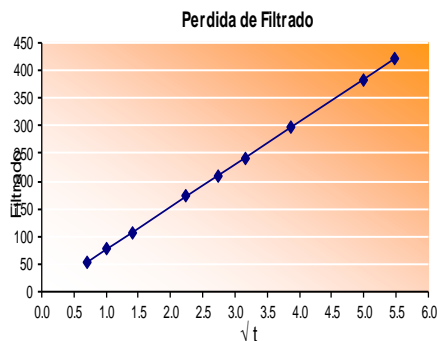
Temperatura de ensayo

39 °C
103 °F

Presión de ensayo

1000 psi

Tiempo (min)	Filtrado	
	ml	gr
0.5	54.00	
1.0	77.00	
2.0	108.00	
5.0	172.00	
7.5	210.00	
10.0	242.00	
15.0	297.00	
25.0	383.00	
30.0	420.00	



Densidad del fluido pesado (gr/lt):

Blowout : ml en minutos

☒ Perdida por Filtrado API: 220.00 ml/30min

☐ Perdida por Filtrado API Calculada: ml/30min

4.3. DISCUSIÓN:

La cementación primaria que se propone en esta tesis consiste en reemplazar la cementación convencional que consta de 2 o más fases en una sola, con el fin de lograr los siguientes beneficios:

- Mantener una baja presión hidrostática que sea menor o igual a la presión del reservorio, para evitar pérdida de circulación durante la cementación
- Lograr que los indicadores empleados en la cementación primaria tales como: el esfuerzo a la compresión, tiempo de bombeabilidad y filtrado, de la cementación convencional, sean menores o iguales a la mezcla convencional
- Lograr una cementación hasta la superficie para proteger la tubería de revestimiento por la corrosión del lodo de perforación.

El cemento que se ha utilizado para esta investigación es el cemento Pacasmayo clase A, que es de fácil obtención y el aditivo ISIL MR que permite mejorar los indicadores de la cementación convencional es a base de silíceo.

Toda cementación consta de cuatro pasos:

- Diseño de ingeniería
- Simulación de los indicadores de la cementación en el laboratorio
- Materiales y aditivos a utilizarse
- Equipo

La tabla número muestra los resultados de la lechada principal de 14.1 lb/gl de la cementación convencional y la lechada propuesta de 12.6 lb/gl con el aditivo ISIL MR.

4.3.1. Comparación de resultados de las lechadas en el laboratorio

	Resistencia a la compresión	Tiempo de bombeabilidad	Filtrado
Requerimiento de ingeniería	1600 psi	240 minutos	230 ml/30 minutos
Lechada convencional	1735 psi	148 minutos	227 ml/30 minutos
Lechada con aditivo Isil MR	1600 psi	245 minutos	220 ml/30 minutos

Podemos observar que la lechada con el aditivo Isil MR cumple con las condiciones necesarias para un correcto proceso de cementación.

4.4. DISCUSIÓN ECONÓMICA

La siguiente tabla muestra los gastos de la cementación convencional utilizando la lechada principal y la lechada de relleno.

Para esta evaluación económica, se han tomado los costos de los aditivos y el equipo usado en la cementación primaria de acuerdo al mercado que manejan las empresas CPVEN Perú, Slumberger, BJ.

En la tabla se describen los costos unitarios de la cementación primaria convencional y de la cementación con la mezcla propuesta.

4.4.1. Costos de la cementación convencional.

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD			UNIDAD	UNITARIO	IMPORTE
2.1-a	Kilometraje Unidad de Bombeo	1 x		200	km	2.34	468.00
2.1-a	Kilometraje Bulk	2 x		200	km	2.34	936.00
2.1-a	Kilometraje Cisterna	1 x		200	km	2.34	468.00
2.1-a	Kilometraje Batch Mixer	1 x		200	km	2.34	468.00
2.1-a	Kilometraje Tanque Para Agua	0 x		200	km	2.34	0.00
2.1-b	Kilometraje Pick Up Operador (I-IV)	2 x		200	km	1.92	768.00
2.2-a	Cargo Básico Cementador (301'-1500')	1		1	C	2760	2760.00
2.2-a	Por Cada pie Debajo de 4000 pies.			0	1 pie	9	0.00
2.2-k	Por Cada Hora Adicional	1 x		0	Hora	580	0.00
2.6-a	Cargo por Bombeo	0 x		9912	Gal	0.18	0.00
2.8-e	Alquiler de Silo Neumático			0	C	450	0.00
2.10-a	Cabeza de Cementación	1		1	C	270	270.00
2.13-a	Cargo por Batch Mixer	1		1	C	650	650.00
2.16-a	Cargo por Cisterna	1		1	C	520	520.00
2.17-a	Cargo por Tanque de Agua			0	C	720	0.00
2.18-a	Mezcla de Cemento	1		904	pie3	1	904.49
2.18-a	Manipuleo de Cemento	1		904	pie3	2.5	2261.23
2.18-a	Transporte de Material a Granel (Tn/Km)	39 x		200	Ton/Km	0.5	3900.00
2.23-a	Cargo por Monitoreo Electrónico	1		1	C	540	540.00
2.27-a	Servicio de Ingeniería	1		1	C	200	200.00
						SUB TOTAL	15113.72
						DESCUENTO	0%
						TOTAL US\$	15113.72
ADITIVOS							
		RELLENO	PRINCIPAL				
ITEM	DESCRIPCION	12.6	14.1	CANTIDAD	UNIDAD	UNITARIO	IMPORTE
6.3-b	Silicato de Sodio	1.5 gal	0.7 gal	41.0 gal	Gal	5	205.00
6.2-d	ASP-742, Antiespumante	0.2 gal	0.2 gal	12.0 gal	Gal	50	600.00
6.6-f	CFL 117, Reductor de Filtrado	0.65%	0.38%	680	Lbs	23	15640.00
6.4-b	SR-02, Dispersante		0.15%	68	Lbs	6.7	455.60
6.4-b	FT-04		0.50%	136	Lbs	11	1496.00
6.4-b	SAC-10, Espaciador Mecanico						
6.4-b	SA-5, Detergente						
6.4-b	PAS, Acondicionador de PH						
						SUB TOTAL	18396.60
						DESCUENTO	0%
						TOTAL US\$	18396.60
PRODUCTOS							
ITEM	DESCRIPCION			CANTIDAD	UNIDAD	UNITARIO	IMPORTE
6.1-b	Cemento Atlas			0	Sx	11.3	0.00
6.1-a	Cemento Pacasmayo, Clase "A"			723	Sx	10.5	7591.50
						SUB TOTAL	7591.50
						DESCUENTO	0%
						TOTAL US\$	7591.50
						TOTAL GENERAL	US\$ 41101.82

4.4.2. Costos utilizando el aditivo ISIL MR

IGRAMA FINAL DE CEMENTACIÓN REVESTIDOR DE POZO:						FECHA	
ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD			UNIDAD	UNITARIO	IMPORTE
2.1-a	Kilometraje Unidad de Bombeo	1 x		200	km	2.34	468.00
2.1-a	Kilometraje Bulk	2 x		200	km	2.34	936.00
2.1-a	Kilometraje Cisterna	1 x		200	km	2.34	468.00
2.1-a	Kilometraje Batch Mixer	1 x		200	km	2.34	468.00
2.1-a	Kilometraje Tanque Para Agua	0 x		200	km	2.34	0.00
2.1-b	Kilometraje Pick Up Operador (I-IV)	2 x		200	km	1.92	768.00
2.2-a	Cargo Básico Cementador (301'-1500')	1		1	C	2760	2760.00
2.2-a	Por Cada pie Debajo de 4000 pies.			0	1 pie	9	0.00
2.2-k	Por Cada Hora Adicional	1 x		0	Hora	580	0.00
2.6-a	Cargo por Bombeo	0 x		1020.6	Gal	0.18	0.00
2.8-e	Alquiler de Silo Neumático			0	C	450	0.00
2.10-a	Cabeza de Cementación	1		1	C	270	270.00
2.13-a	Cargo por Batch Mixer	1		1	C	650	650.00
2.16-a	Cargo por Cisterna	1		1	C	520	520.00
2.17-a	Cargo por Tanque de Agua			0	C	720	0.00
2.18-a	Mezcla de Cemento	1		1021	pie3	1	1020.60
2.18-a	Manipuleo de Cemento	1		1021	pie3	2.5	2551.50
2.18-a	Transporte de Material a Granel (Tn/Km)	43 x		200	Ton/Km	0.5	4300.00
2.23-a	Cargo por Monitoreo Electrónico	1		1	C	540	540.00
2.27-a	Servicio de Ingeniería	1		1	C	200	200.00
						SUB TOTAL	15920.10
						DESCUENTO	0%
						TOTAL US\$	15920.10
ADITIVOS							
ITEM	DESCRIPCION	RELLENO	PRINCIPAL	CANTIDAD	UNIDAD	UNITARIO	IMPORTE
6.3-b	Silicato de Sodio	1.5 gal		41.0 gal	Gal	5	205.00
6.2-d	ASP-742, Antiespumante	0.2 gal		12.0 gal	Gal	50	600.00
6.6-f	CFL 117, Reductor de Filtrado	1.50%		680	Lbs	18	12240.00
6.4-b	SR-02, Dispersante	0.10%		68	Lbs	6.7	455.60
6.4-b	FT-04				Lbs	11	
6.4-b	ISI MR	5.00%		600	Lbs	25	15000.00
6.4-b	SA-5, Detergente						
6.4-b	PAS, Acondicionador de PH						
						SUB TOTAL	28500.60
						DESCUENTO	0%
						TOTAL US\$	28500.60
PRODUCTOS							
ITEM	DESCRIPCION			CANTIDAD	UNIDAD	UNITARIO	IMPORTE
6.1-b	Cemento Atlas			0	Sx	11.3	0.00
6.1-a	Cemento Pacasmayo, Clase "A"			620	Sx	10.5	6510.00
						SUB TOTAL	6510.00
						DESCUENTO	0%
						TOTAL US\$	6510.00
						TOTAL GENERAL	50930.70

4.4.3. Resumen de costos de la cementación

Tabla comparativa de costos de cementación

tipo	Densidad	Costo
Cemento con Isil MR	12.6 lb/gl	\$41101.82
Cemento convencional	14.1 lb/gl	\$50930.70

Podemos observar que el costo de la cementación convencional es más económico. El costo de la cementación con el aditivo Isil MR es más elevado en un 23% del costo de una cementación convencional, si bien el costo de esta cementación es mayor, existen muchos beneficios como evitar la corrosión de la sarta de revestimiento, o cementar pozos de baja presión, etc

CONCLUSIONES

- Con el aditivo Isil MR se ha logrado en el laboratorio, alcanzar los indicadores de cementación primaria utilizada actualmente en los pozos menores a 4000 ft
- La cementación propuesta con el aditivo Isil MR es mayor en un 25% que la convencional, sin embargo, esta diferencia de costos se compensa con los beneficios tales como:
 - a) Evitar la corrosión de la sarta de revestimiento
 - b) Cementar pozos de baja presión de reservorio
 - c) Evitar la canalización del gas o del agua
 - d) Ser utilizados los pozos productores como pozos inyectoros en los proyectos de recuperación mejorada en formaciones productivas someras.
- Garantizar una mayor seguridad en los trabajos de cementación
- Se reduce la contaminación del medio ambiente y del personal por menor cantidad de volumen de cemento.
- El uso del Isil MR permite un óptimo fraguado del cemento para lograr sellos hidráulicos entre la formación y el casing de producción.
- La cantidad apropiada de aditivo Isil MR para crear una lechada óptima para una formación de baja presión es del 5%

RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar la muestra propuesta para evaluar los resultados, técnica y económicamente
- Se recomienda el uso de las tierras diatomeas, que es la materia prima del producto Isil MR y considerarla de este modo como una posible inversión económica


BIBLIOGRAFÍA

- Dan Mueller, BJ Services: “An Evaluation of well cements for use in High Stress Environments”. JPT , 1999
- Erik B. Nelson, David R. Bell, Schlumberger : Well cementing. San Etienne, France.
- K.J. Goodwin, Mobil E&P Services Inc. and R.J. Crook, Halliburton Services: “Cement Sheath Stress Failure” SPE 20453, Diciembre 1992
- Method for Cementing Surface Casings in Shallow Gas Zones: A Case History” SPE 54286, Jakarta, Indonesia, Abril 1999.
- P.A Parcevaux and P.H. Sault, Schlumberger: “Cement Shrinkage and Elasticity: Anew Approach for a good Zonal Isolation”. SPE 13176, Dallas, TX, 1984
- R. Abdul Rahman, Phil Rae, BJ Services: “A Simpler, More Effective

ANEXOS

ANEXO 1

HOJA DE SEGURIDAD ISIL-MR

 ISI Oilfield Chemicals	HOJA DE SEGURIDAD	Cod: PG 07 D ISIL MR- MSDS
	ISIL - MR	Rev: 00 Fecha: 01/11/16 Página: 1/2

1 y 2 – IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y COMPOSICION
NOMBRE: ISIL - MR SINONIMOS: Harinas silíceas fósiles FAMILIA QUIMICA: Dióxidos de silicio APLICACION: Mejorador de resistencia inicial y final. COMPOSICION/COMPONENTES: Mezcla

3 – IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS
Puede causar irritación de los ojos, la piel y las vías respiratorias. La sobre exposición puede causar efectos crónicos.

4 – PRIMEROS AUXILIOS
EXPOSICIÓN DE LOS OJOS: Lavarlos inmediatamente con abundante agua, manteniendo los párpados separados. Si la irritación persiste acudir al oftalmólogo. EXPOSICIÓN DE LA PIEL: Retire toda la vestimenta contaminada. Enjuague inmediatamente con jabón y abundante agua. Si la irritación persisten acudir al médico. INGESTIÓN: Hacer beber gran cantidad de agua. No inducir al vómito. Consultar al médico. INHALACIÓN: Trasladar a la persona al aire puro. De ser necesario asistir con oxígeno. Si es necesario consultar al médico.

5 – MEDIDAS CONTRA INCENDIOS
MEDIOS DE EXTINCIÓN ADECUADOS: Niebla de agua, Espuma, Dióxido de carbono o polvo químico seco. RIESGOS ESPECIFICOS: Incombustible. Posibilidad de formación de vapores peligrosos por incendio en el entorno. RIESGOS ESPECIALES POR EXPOSICIÓN: Utilice agua por aspersión para enfriar las superficies expuestas al fuego. EQUIPO DE PROTECCIÓN PARA LOS BOMBEROS: Utilice equipos de respiración autónoma, de presión positiva y ropa de protección contra fuego adecuada. Si no existe equipo adecuado, combata el fuego desde una posición protegida o alejada. INFORMACION ADICIONAL: Recoger el agua de incendio separadamente. No descargarlo en los drenajes. CALIFICACIÓN NFPA: Salud 1; Inflamabilidad 0; Reactividad 0. CLASIFICACION HMIS: Inflamabilidad 0, Reactividad 0, Salud 1.

6 – MEDIDAS EN CASO DE DERRAMES
PROTECCIÓN PERSONAL: Evite exposiciones y contactos innecesarios. Evite contacto con ojos y piel. PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE: Evite diluir el producto con agua para minimizar el tamaño del derrame. Evite que el producto contamine la tierra, caiga al sistema de alcantarillado público o a cursos de agua. LIMPIEZA: De ser posible, recoja y recicle el producto derramado. De lo contrario, usando un material absorbente, recójalo, transfíralo a contenedores adecuados para su desecho. Se puede utilizar agua para terminar la limpieza del sitio donde ocurrió el derrame. Evitar la formación de niebla. En caso de derrame recoger mecánicamente y en seco, utilizar máscara facial y evitar el volcado del producto en la red cloacal. Recoja rápidamente la mayor cantidad posible dentro de contenedores adecuados.

7 – MANIPULACIÓN Y ALMACENAJE
MANIPULACIÓN: Las áreas y métodos de trabajo deberán estar organizados de tal forma que se evite el contacto directo con el producto. Las áreas de trabajo deberán estar provistas de una adecuada ventilación para minimizar la exposición del personal. ALMACENAJE: Conservar en lugares frescos y bien ventilado. Mantenga el envase original cerrado mientras no esté en uso. Respetar en todo momento las reglas habituales.

8 – CONTROL DE EXPOSICIÓN / PROTECCIÓN PERSONAL
PROTECCIÓN PERSONAL: Los tipos de auxiliares para protección del cuerpo deben elegirse específicamente según el puesto de trabajo en función de la concentración y cantidad de la sustancia. PROTECCIÓN RESPIRATORIA: Filtro 3 M 8247 o equivalente. PROTECCIÓN DE LOS OJOS: Anteojos de seguridad / máscara de protección facial. PROTECCIÓN DE LAS MANOS: Guantes resistentes a agentes químicos. MEDIDAS DE HIGIENE PARTICULARES: Lavarse las manos al finalizar el trabajo. Sustituir la ropa contaminada. No coma, ni beba mientras trabaja.



ISI Oilfield Chemicals

HOJA DE SEGURIDAD

ISIL - MR

Cod:

PG 07 D ISIL MR- MSDS

Rev: 00

Fecha: 01/11/16

Página: 2/2

9 - PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS

Apariencia	Polvo fino blanco
Densidad Bulk	240 kg/m3
Humedad	5 %
Gravedad Específica	2,2 gr/cm3

10 - ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

DATOS DE ESTABILIDAD: Estable.

POLIMERIZACIÓN PELIGROSA: No polimeriza.

CONDICIONES A EVITAR: No Aplica.

INCOMPATIBILIDAD (Materiales a evitar): El contacto con oxidantes fuertes como el flúor, trifluoruro de cloro, bifluoruro de oxígeno puede producir incendios.

PRODUCTOS DE DESCOMPOSICIÓN PELIGROSOS: la sílica se disuelve en ácido fluorhídrico produciendo un gas corrosivo el tetra fluoruro de silicio

PAUTAS ADICIONALES: Conservar los recipientes secos y herméticamente cerrados para evitar la absorción de humedad y la contaminación. Evitar el calentamiento del producto. No se descompone si es almacenado en condiciones normales.

11 - INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

La sobre exposición provoca efectos crónicos como silicosis, Tuberculosis y nefrotoxicidad, también puede provocar abrasión a la cornea.

12 - INFORMACIÓN ECOLÓGICA

Este producto no presenta problemas de eco toxicidad.

OTRAS OBSERVACIONES ECOLÓGICAS: Manteniendo las condiciones adecuadas de manejo no deben esperarse problemas ecológicos.

13 - MANEJO DE DESECHOS

No deseche el producto en el sistema de alcantarillado público, e la tierra ni en ningún curso de agua subterránea o superficial. El procedimiento recomendado para desechar el producto no formulado ni contaminado consiste en reciclarlo, reprocesarlo o incinerarlo en condiciones autorizadas. Las mismas opciones de desecho se recomiendan para material contaminado o formulado; sin embargo, se requieren evaluaciones adicionales antes de tomar una decisión. Cualquier práctica de desecho que se siga debe cumplir con todas las normas y legislación local, provincial o nacional, que varía según los lugares. Consulte con las oficinas y agencias oficiales apropiadas. Es responsabilidad del que genera el residuo, caracterizarlo y cumplir con las leyes pertinentes.

14 - INFORMACIÓN DE TRANSPORTE

NÚMERO DE ONU: No regulado

TRANSPORTE TERRESTRE: No regulado

TRANSPORTE MARÍTIMO: No regulado

TRANSPORTE AÉREO: No regulado

15 - INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

Consulte las disposiciones locales, provinciales o nacionales correspondientes.

16 - OTRAS INFORMACIONES

La información indicada se considera correcta pero no pretende ser limitativa y debe utilizarse únicamente como orientación. Se sugiere que cualquier uso especial sea brindado y dirigido por profesional calificado o idóneo.

TELÉFONOS: Bomberos 100; Policía 101; Defensa Civil 103; Emergencias Médicas 107.

ANEXO 2

MATRIZ BÁSICA DE CONSISTENCIA

Título del proyecto: “Cementación primaria con lechadas de cementos de baja densidad en formaciones de baja presión”

Nombre del tesista: Hugo Martin Vite Rodríguez

	Pregunta	Hipótesis	Objetivo
G	¿Cómo influye la lechada de baja densidad en formaciones de baja presión?	La lechada de baja si influye en las formaciones de baja presión	Formular una mezcla de cementación primaria de baja densidad capaz de ser usada en formaciones de baja presión
E1	¿Cómo la lechada de baja densidad influye en el fragüe del cemento en una formación de baja presión?	El uso de una lechada de baja densidad permite un fragüe optimo en formaciones de baja presión	Obtener un óptimo fraguado del cemento para lograr sellos hidráulicos entre la formación y el casing de producción.
E2	¿Cómo influyen los aditivos influye en la lechada de baja densidad?	Los aditivos si influyen en la lechada de baja densidad	Identificar las cantidades apropiadas de aditivos para crear una lechada óptima para una formación de baja presión

ANEXO 3

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE DE LA VARIABLE

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidades de medida
Lechada de cementos de baja densidad	La lechada de cemento sirve para efectuar un sello hidráulico entre la formación y la tubería de revestimiento. La densidad de esta lechada influye en la consistencia del sello hidráulico y depende del tiempo de fraguado y los aditivos que se usen.	Para controlar la densidad de la lechada se utiliza la balanza de lodos que nos da el valor de la densidad de la lechada y mediante esta verificamos las propiedades físicas que tendrá el cemento (aditivos, Tiempo de fraguado, aditivos)	Determinación de la densidad de la lechada	Utilizaremos la balanza de lodos	LPG (libras/galon)
			Determinación del esfuerzo a la compresión (a las 12,24 y 48 horas)	La fuerza que toma el cemento con el paso de las horas conforma va fraguando	Lb/ft ²
			Determinación del esfuerzo de gel del cemento	Valores apropiados de static gel strength	lbf/100ft ²

Formaciones de baja presión	Una condición del subsuelo en la que la presión de poro de una formación geológica es menor que la presión de formación esperada o normal.	Es el tipo de formaciones que por acción de la producción de petróleo o por tratarse de campos maduros ,poseen una presión baja ,lo que los hace propensos a pérdidas de fluidos por altas densidades	Para medir la presión se usan registradores de presión de fondo (boton hold pressure)	Prueba PCP Prueba de Built up	Gradiente del reservorio (psi/ft)
Tiempo de fraguado	El tiempo que tarda el cemento en alcanzar la resistencia a la compresión requerida.	Depende de la calidad y cantidad de aditivos	Horas	Consistómetro presurizado	Horas
Esfuerzo a la compresión	La resistencia del cemento para soportar la presión de fractura	Depende del gradiente del reservorio y del gradiente litológico	Determinación del esfuerzo a la compresión en Lb/ft ²	En el laboratorio usando el instrumento UCA	Lb/ft ²

ANEXO 4

MATRIZ GENERAL DE CONSISTENCIA

Título: “Cementación primaria con lechadas de cementos de baja densidad en formaciones de baja presión” Piura-Perú 2018 Nombre de tesista: Hugo Martin Vite Rodríguez				
Problemas	Objetivo	Hipótesis	Variables/Indicadores	Metodología
General ¿Cómo el uso de la una cementación primaria con lechadas de baja densidad influye en formaciones de baja presión?	Formular una mezcla de cementación primaria de baja densidad capaz de ser usada en formaciones de baja presión	El uso de una cementación primaria con lechadas de baja densidad no tendrá efectos negativos sobre formaciones de baja presión	Variable I Cementación primaria con lechadas de cementos de baja densidad Dimensiones <ul style="list-style-type: none">Determinación del tiempo de bombeabilidad (en horas y minuto)Determinación del esfuerzo a la compresión (a las 12,24 y 48 horas)Determinación del esfuerzo de gel del cemento	Enfoque: Mixto Diseño: Experimental Nivel: Descriptivo Tipo: Básica Método: Análisis de laboratorio Técnicas: Recolección de datos Instrumentos y técnicas: Reportes de laboratorio Procesamiento de datos: Análisis de los resultados de los ensayos de laboratorio De análisis Comparación de los datos de laboratorio con los requisitos de la formación Población Pozos del lote X Muestra Pozos someros (3600 ft) Procedimiento
Específico	Específico	Específico		
¿Cómo la cementación primaria con lechadas de baja densidad influye en el fragüe del cemento en una	Obtener un óptimo fraguado del cemento para lograr sellos hidráulicos entre la formación y	El uso de una cementación primaria con lechadas de baja densidad permitirá un fragüe optimo en formaciones		

formación de baja presión?	el casing de producción.	de baja presión		Para medir la densidad del cemento (API 10B)
¿Cómo el uso de la una cementación primaria con lechadas de baja densidad combinadas con aditivos influye en formaciones de baja presión?	Identificar las cantidades apropiadas de aditivos para crear una lechada óptima para una formación de baja presión	El uso de una cementación primaria con lechadas de baja densidad combinada con la cantidad adecuada de aditivos permite una adecuada cementación en formaciones de baja presión	<p>Variable II Formaciones de baja presión</p> <p>Dimensiones Para medir la presión se usan registradores de presión de fondo (boton hold pressure)</p>	<p>Enfoque: Mixto Diseño: Ingeniería de reservorios Nivel: Descriptivo Tipo: Básica Método Pruebas de (BHP) (presiones de fondo) Técnicas: Recolección de datos Instrumentos y técnicas PCP Y built up Procesamiento de datos Análisis de presiones de fondo Población: Pozos del lote X Muestra: Pozos someros (3600 ft) Procedimiento: Presiones de fondo</p>

			<p>Variable II Tiempo de fragüe</p> <p>Dimensiones El tiempo</p>	<p>Enfoque: Mixto</p> <p>Diseño: Experimental</p> <p>Nivel: Descriptivo</p> <p>Tipo: Básica</p> <p>Método: Análisis de laboratorio</p> <p>Técnicas: Recolección de datos</p> <p>Instrumentos y técnicas: Reportes de laboratorio</p> <p>Consistómetro presurizado</p> <p>Procesamiento de datos Análisis de los resultados de los ensayos de laboratorio</p> <p>De análisis Comparación de los datos de laboratorio con los requisitos de la formación</p> <p>Población Cementos Pacasmayo y aditivos</p> <p>Muestra Mezcla de cemento con aditivos</p> <p>Procedimiento Usando la maquina....</p>
--	--	--	--	--

			<p>Variable III</p> <p>Esfuerzo a la compresión</p> <p>Dimensiones</p> <p>Determinación del esfuerzo a la compresión</p>	<p>Enfoque: Mixto</p> <p>Diseño:</p> <p>Experimental</p> <p>Nivel: Descriptivo</p> <p>Tipo: Básica</p> <p>Método: Análisis de laboratorio</p> <p>Técnicas:</p> <p>Recolección de datos</p> <p>Instrumentos y técnicas</p> <p>Reportes de laboratorio</p> <p>Maquina UCA</p> <p>Procesamiento de datos</p> <p>Análisis de los resultados de los ensayos de laboratorio</p> <p>De análisis</p> <p>Comparación de los datos de laboratorio con los requisitos de la formación</p> <p>Población</p> <p>Cementos</p> <p>Pacasmayo y aditivos</p> <p>Muestra</p> <p>Mezcla de cemento con aditivos</p> <p>Procedimiento</p> <p>Usando la maquina UCA</p>
--	--	--	--	--

